Vergleichende Untersuchungen über die Feststellung der Düngerbedürftigkeit der Böden an Phosphorsäure

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität
zu Göttingen

Vorgelegt von M. J. van der Spuij
aus Malmesbury, Kapprovinz Südafrika.

Göttingen 1925

Vergleichende Untersuchungen über die Feststellung der Düngerbedürftigkeit der Böden an Phosphorsäure

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität
zu Göttingen

Vorgelegt von M. J. van der Spuij
aus Malmesbury, Kapprovinz Südafrika.

Göttingen 1925

Vorliegende Arbeit wurde von mir im Agrikulturchemischen und Bodenkundlichen Institut der Georg-August-Universität zu Göttingen auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. E. Blanck ausgeführt.

An dieser Stelle möchte ich meinen hochverehrten Lehrer für die wissenschaftlichen Anregungen, die ich von ihm empfangen habe, sowie für die weitgehende Unterstützung, die er mir bei meiner Arbeit zuteil werden ließ, meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Tag der mündl. Prüfung: 13. Mai 1925.

Referent: Professor Dr. E. Blanck.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Druck von G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig).

Vergleichende Untersuchungen über die Feststellung der Düngebedürftigkeit der Böden an Phosphorsäure.

Von **M. J. van der Spuij,** aus Malmesbury, Kapprovinz Südafrika*).
Aus dem agrikulturchemischen und bodenkundlichen Institut der Universität Göttingen.

Im allgemeinen kann man wohl in Hinsicht auf die Ernährung der Pflanze zwei wesentlich von einander abweichende Arten der Bodenbestandteile unterscheiden, nämlich einmal leicht lösliche, die der Pflanze unmittelbar zugänglich sind, und andermal solche, die sich für die Pflanze nicht direkt aufnehmbar erweisen. Während erstere, soweit sie nicht schon im gelösten Zustand zugegen sind, leicht in diesen überführt werden können, ist dieses für die letzteren entweder praktisch genommen überhaupt nicht der Fall, oder Verwitterung und fortdauernde Kultur des Bodens wandeln sie nur langsam in die für die Pflanzen aufnehmbare Form um.

Der besagte Unterschied kann auch durch folgenden Versuch sehr deutlich illustriert werden. Bepflanzt man einen Naturboden, so erkennt man während der ersten Vegetationsperioden ein normales Wachstum der Pflanzen, aber die Pflanzennährstoffe werden, wenn keine Vorsorge für ihren Ersatz getroffen wird, schnell verbraucht. Das zeigt, daß den Pflanzen anfangs eine Menge leicht aufnehmbarer Bodenbestandteile zur Verfügung steht, die aber im Laufe der Jahre in der Ernte durch die Pflanzen dem Boden entzogen werden. Die Pflanzen zeigen nunmehr Mangelerscheinungen und schlechtes Wachstum, trotzdem sich noch Pflanzennährstoffe, wie z. B. Phosphorsäure, im Boden befinden. Diese Phosphorsäure ist nun aber nicht mehr in leicht löslicher Form vorhanden, sie befindet sich vielmehr in einem für die Pflanze schwer zugänglichen Zustande.

Um den Boden in seinen alten Fruchtbarkeitszustand zu versetzen, müssen wir ihn düngen. Soll diese Maßnahme in zweckentsprechender Weise zur Durchführung gelangen, so müssen wir wissen, was dem Boden fehlt, d. h. die Düngebedürftigkeit dieses Bodens muß festgestellt werden. Bekanntermaßen sind jedoch die chemischen Bodenbestandteile nicht allein maßgebend für die Beschaffenheit eines Bodens, sondern es spielt auch der physikalische Zustand, in dem sich der Boden befindet, eine große Rolle für die Beurteilung der Frage nach der Fruchtbarkeit eines Bodens, so daß sich die Beantwortung derselben äußerst schwierig gestaltet.

Greifen wir z. B., um eine Vorstellung von dem Vorkommen, der Verteilung und der Form eines Nährstoffes im Boden zu er-

---

*) Die Dissertation ist als Abhandlung in der Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung, Teil A, Bd. V, 1923, Seite 281—325 zum Abdruck gelangt. Blanck.

halten, die Phosphorsäure heraus, so müssen wir nach den uns bisher bekannt gewordenen Feststellungen bezw. Ansichten darauf hinweisen, daß folgende Möglichkeiten des Auftretens zu berücksichtigen sind.

Die Phosphorsäure kann im Boden sowohl an organische Substanzen gebunden als auch in Verbindung mit anorganischen Basen vorkommen. Die letztere Phosphorsäure, die auch als mineralische Phosphorsäure bezeichnet wird, findet sich in der Natur zur Hauptsache fast stets an Kalzium, Magnesium, Eisen oder Aluminium gebunden vor.

Diese Mineralphosphate sind nun aber je nach ihrer Form sehr verschieden löslich und erweisen sich mithin auch von sehr wechselnder Aufnehmbarkeit für die Pflanze.

Im allgemeinen wird angenommen, daß Magnesium- und Dikalziumphosphat verhältnismäßig leicht, Trikalziumphosphat dagegen nur in säurehaltigen Böden von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Das Eisen- und Aluminiumphosphat bezw. deren Phosphorsäure hat dagegen bisher als nicht genügend wirksam gegolten. Man nimmt an, daß, je mehr Eisen- und Aluminiumoxyd im Boden vorhanden ist, um so mehr sich die Ausnutzbarkeit der Phosphorsäure verringert.

Deherian[1]), Adams[2]) und Hilgard[3]) fanden, daß die Phosphorsäure-Wirkung im Superphosphat in an Eisen- und Aluminiumoxyd reichen Böden unterdrückt werde, und sie erklären sich diesen Befund dahingehend, daß eine Umwandlung in Eisen- und Aluminiumphosphat stattgefunden hat. Aus anderen Versuchen geht hervor, daß auch Aluminium- und Kieselsäure-Gele die Wirksamkeit der Phosphorsäure herabsetzen. So fanden Pfeiffer und Blanck[4]), daß beide Gele die Erträge und den Phosphorsäure-Gehalt der Pflanzen erniedrigten. Die schlechte Aufnehmbarkeit der Aluminiumphosphate kann durch die Zufuhr von Kalk behoben werden, wie aus den Versuchen Gaither's[5]) und solchen, die in Maryland[6]), Frankreich[7]) und Rode Island[8]) angestellt wurden, hervorgeht. Bezüglich des Eisenphosphats liegen die Verhältnisse anders. Im Widerspruch mit all diesen Ergebnissen befinden sich die von Nagaoka[9]) ermittelten Befunde. Dieser wandte auf Reisfeldern, die durch Jahre andauernde Ernte stark an Phosphorsäure verarmt waren, die verschiedensten Phosphorsäureverbindungen als Düngemittel an. Alle gedüngten Felder gaben hohe Mehrerträge. Die relative Mehrernte, die durch die

[1]) Traié de chimie agricole S. 506 Mocie Paris.
[2]) Agr. Exp. Sta. Bul. 114.
[3]) Soils, New York 1914 S. 365.
[4]) Mitt Landw. Inst. Breslau, Bd. 6, Nr. 2, S. 315.
[5]) Journal Indus. Engin. Chem.
[6]) Agr. Exp. Sta. Bul. 114.
[7]) Ann. Agron., Bd. 21, S. 171.
[8]) Agr. Exp Sta. Bul. 114 u. 118.
[9]) Exp. Sta. Record B. 16, S. 555.

verschiedenen Phosphate erzielt wurde, geht aus der folgenden Tabelle, in der die Wirkung des Superphosphats gleich 100 gesetzt ist, hervor.

	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	Mittel
Doppel-Superphosphat	100	100	100	100	100
Fe-Phosphat	140	141	399	58	185
Fe-Phosphat	87	88	194	44	103
Al-Phosphat	92	145	514	103	216
Ca-Phosphat	117	110	161	118	127

Der Befund, daß an Kalk gebundene Phosphorsäure z. T. schlechter wirkt als die an Aluminium und Eisen gebundene, ist durch die Ergebnisse der von Shulov[10]) und Baguely[11]) durchgeführten Versuche bestätigt worden. An Hand von Topfversuchen zeigten Elliot und Hill[12]), daß Eisen und Aluminium die Phosphorsäure nicht in solche Verbindungen überführen, die den Pflanzen nicht zugänglich sind, im Gegenteil betonen die Versuchsansteller, daß Eisen- und Aluminiumphosphat einen höheren Pflanzen-Ertrag als die Kalziumverbindungen erzielten. Die Frage, ob die Rohphosphate oder frisch hergestelltes und dann getrocknetes Eisenphosphat die gleiche Wirkungsweise haben, wurde durch die Versuche von Peterson und Truog[13]) dahingehend beantwortet, daß sich für Hafer das letztere als bessere Phosphorquelle als das Rohphosphat erwies, während sich für Raps das Gegenteil ergab.

J. Marais[14]) kommt auf Grund seiner Untersuchungen über vorliegenden Gegenstand zu folgenden Schlüssen. Aluminium- und Eisenphosphat stellen verschiedenartige Phosphorquellen für die Pflanzen dar. Unter bestimmten Verhältnissen und Bedingungen sind sie den Kalziumphosphaten überlegen. Chemisch reine Fe- und Al-Phosphate sind genau so gut den Pflanzen zugänglich wie reines Ca-Phosphat, während die Mineralphosphate von Fe und Al nicht so gut wie die chemisch reinen Phosphate dieser Elemente aufgenommen werden. Dies zuletzt genannte Ergebnis hängt nach dem Autor damit zusammen, daß die Mineralphosphate in Form von hydratischen, basischen Phosphaten in der Natur vorkommen. Werden dagegen die Mineralphosphate geglüht und das Wasser aus ihnen entfernt, d. h. die natürliche kristalline Form zerstört, so wirken die so behandelten Phosphate günstiger. In eingehenden Untersuchungen hat der Genannte auch die Wirkung einer gleichzeitigen Kalkgabe zu den verschiedenen Phosphaten geprüft und gefunden, daß das Kalziumphosphat in seiner ertragssteigernden Wirkung durch die beigegebene Kalkgabe gehindert wird, während das Aluminiumphosphat durch sie ertragssteigernd wirkt und das Eisenphosphat auf die Beigabe von Kalk nicht

[10]) abs. in Exp. Sta. Rec. Bd. 6, S. 427.
[11]) Journal agric. Sci. Bd. 4 1909—10, S. 318.
[12]) Agr. Exp. Sta. ann. Rpt. 1909—10.
[13]) Wis. Agr. Exp. Sta. Bul. 228.
[14]) Soil Science Bd. 8 1922, S. 355.

reagiert. Besonders bemerkenswert ist hier, daß der Harn eine lösende Wirkung auf die genannten Phosphate ausübt, was durch die Ertragssteigerung zum Ausdruck kommt; dieser Befund wird durch die Löslichkeitsversuche mit Jauche auf die Bodenbestandteile, die von E. Blanck und F. Alten[15]) kürzlich angestellt wurden, bestätigt.

In Uebereinstimmung mit Marais und anderen Forschern stellte M. C. Brioux fest, daß verschiedene Pflanzen besser auf Eisenphosphat, andere dagegen besser auf Aluminiumphosphat reagieren. Er fand u. a., daß Fe-Phosphat eine größere Ertragssteigerung als Al- oder Ca-Phosphat erzielte, während es bei Lein, Senf, Buchweizen und Gelbklee die schwächste Reaktion zeigte. Das Aluminiumphosphat dagegen wurde durch Spörgel und Flachs leicht aufgenommen, und zwar wirkte es meistenteils besser als Ca-Phosphat.

Dieser Literatur-Uebersicht ist zu entnehmen, daß die Frage über die Düngewirkung des Eisen- und Aluminiumphosphates zwar von sehr verschiedenen Seiten geprüft worden ist, daß aber die Versuche recht auseinandergehende Resultate gezeitigt haben.

Um ein ungefähres Bild von der Wirkungsweise dieser Phosphate zu erhalten, stellte ich Lösungsversuche mit den verschiedensten Lösungsmitteln an und ermittelte den Gesamtphosphorsäuregehalt, und zwar verwandte ich chemisch reines, von mir selbst dargestelltes Fe- und Al-Phosphat zu diesen Versuchen, deren Ergebnisse aus der folgenden Tabelle ersichtlich sind.

Chem. Zusammensetzung			P_2O_5 löslich in 2%-iger Zitronensäure-Lösung		P_2O_5 löslich in 1%-iger Zitronensäure-Lösung		P_2O_5 löslich in mit CO_2 gesättigtem Wasser	
Gesamt-P_2O_5	% Fe_2O_3	% Al_2O_3	% P_2O_5	In % der Gesamt-P_2O_5	% P_2O_5	In % der Gesamt-P_2O_5	% P_2O_5	In % der Gesamt-P_2O_5
Eisenphosphat 52,17	39,13		30,811	59,06	13,906	26,65	1,595	3,05
Geglühtes „ 56,14	42,65		0,447	0,796	0,333	0,59	0,153	0,27
Aluminium „ 54,10		42,40	52,867	97,73	37,508	69,34	5,741	10,61
Geglühtes „ 55,56			12,758	22,96	9,441	16,99	1,244	2,24

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die nicht geglühten Phosphate sehr gut in 2%-iger Zitronensäure löslich sind. Berücksichtigt man, daß diese Lösung dazu dient, den Gehalt an aufnehmbarer Phosphorsäure in den verschiedensten Phosphorsäuredüngemitteln festzustellen, und vergleicht die erhaltenen Zahlen mit denen, die bei der Lösung z. B. der Thomasschlacke erhalten werden, so kann man wohl die Möglichkeit einer guten Wirkungsweise dieser Phosphate zugeben.

Zieht man jedoch andererseits die Resultate betr. die Löslichkeit

[15]) Journal f. Landw. 1924, Heft 3.

der geglühten Phosphate in Betracht, so muß zugegeben werden, daß der geringe Gehalt an in Lösung gegangener Phosphorsäure dieselben als für die Düngung ungeeignet erscheinen läßt.

Das zeigt uns aber schon, wie verwickelt die Verhältnisse für diesen einen Nährstoff liegen, selbst dann, wenn ein chemisch frisch hergestelltes Präparat zur Anwendung gelangt. Es wird aber unter Berücksichtigung der Gegenwart einer Anzahl solcher Substanzen von kaum kontrollierbarer Beschaffenheit im Boden eine fast unmögliche Aufgabe sein, eine Methode zu wählen, die dem Verlangen, die Düngebedürftigkeit eines Boden festzustellen, gerecht werden kann. Das hat sich auch im allgemeinen als bestätigt gezeigt, so daß man auch heute trotz aller Bemühungen noch nicht zum Ziel gelangt ist. Ein kurzer Ueberblick über das bisher Erreichte wird uns am besten vor Augen führen, wie man vorgegangen ist, und welche Erfolge gezeitigt worden sind.

Es handelt sich bei allen benutzten Methoden naturgemäß um die Ermittelung der leicht löslichen bezw. der leicht von der Pflanze aufnehmbaren Bestandteile eines Bodens. König und Mitarbeiter haben folgenden Weg eingeschlagen. Sie suchten u. a. eine Beziehung zwischen der Bodenfruchtbarkeit und den Ergebnissen, die durch Oxydation des Bodens mit H_2O_2 erhalten wurden, zu finden. Durch weitere Versuche zur Beantwortung der Frage nach der Löslichmachung der Bodennährstoffe kam König zu dem interessanten Ergebnis, daß nach 5-stündiger Behandlung eines Bodens mit Wasserdampf[16]) unter einem Druck von 5 Atm. eine geringere Menge mineralischer Nährstoffe als durch Oxydierung in Lösung geht. Bei beiden Verfahren wurden aber mehr Nährstoffe gelöst erhalten, als durch destilliertes und CO_2-haltiges Wasser in Lösung gebracht werden konnte. Er vermochte indessen keine Beziehungen zwischen der im Boden befindlichen und der durch die Pflanzen aufgenommenen Phosphorsäure zu finden, denn durch die Behandlung mit Wasserdampf unter Druck wurden z. B. nur etwa $^1/_8$ des durch die Pflanzen aufgenommenen Kalis gelöst.

Schließlich versuchte König durch Ermittelung des osmotischen Druckes[17]) des Bodens die löslichen Bestandteile desselben zu bestimmen. Er glaubte durch eine solche Feststellung aus dem Grunde einen fehlerfreien Ausdruck für den Löslichkeitsgrad der Bodennährstoffe bezw. für die Fruchtbarkeit des Bodens gewinnen zu können, weil die Annahme berechtigt erschien, daß sämtliche Nährstoffe auf osmotischem Wege aus dem Boden in die Pflanzenzelle gelangen. Die Resultate dieser Versuche ergaben aber nur bei 2 von 6 angewandten Böden eine solche Beziehung, sodaß er, die Unzulänglichkeit seiner Methode einsehend, zur Anstellung und Durchführung weiterer Versuche in genannter Richtung rät.

Andere Forscher schlugen andere Wege zur Ermittelung der

[16]) Landw. Vers.-Sta. 1907, **66**, 401.
[17]) „ „ „ 1908, **69**.

im Boden befindlichen durch die Pflanze leicht assimilierbaren Bestandteile vor, so glaubten z. B. Pfeiffer und Blanck[18]), daß die Pflanzenanalyse das beste Mittel für diesen Zweck abgeben dürfte.

Ueber die Frage, ob das Düngebedürfnis durch diese letzte Methode ermittelt werden könne, ist sehr häufig diskutiert worden. So kam schon Weinhold[19]) an Hand von Unkrautanalysen zu dem Schluß, daß eine Pflanze nur normal gedeihe, wenn der Boden sowohl chemisch als auch physikalisch gerade für die betreffende Pflanze geeignet sei.

Auch die Untersuchungen von Emmerling[20]) mit verschiedenen Hafersorten, dann die von Atterberg[21]) mit Haferkörnern und die von Hellriegel[22]) mit Gerste angestellten Versuche ergaben keine näheren Beziehungen zwischen Gehalt der Pflanze an Nährstoffen und den Bodenkonstituenten, da die Resultate z. T. unter zu großen Schwankungen leiden.

R. Heinrich[23]) vertrat für den gedachten Zweck den Standpunkt, nicht die ganze Pflanze, sondern nur die Wurzeln zu untersuchen. Der Gehalt an Nährstoffen in ihnen sollte die Fruchtbarkeit des Bodens anzuzeigen erlauben. Folgende von ihm aufgestellte Zahlenwerte geben das Gehaltsminimum an Nährstoffen in den Wurzeln wieder.

1. N 1,24 K_2O 0,87 P_2O_5 0,18
2. N 0,82 K_2O 1,23 P_2O_5 0,53
3. N 0,51 K_2O 0,36 P_2O_5 0,31

Er schloß aus einer Wurzelanalyse mit obigen Zahlenwerten, daß im Falle 1 eine Phosphorsäuregabe notwendig sei, während sich im Falle 2 und 3 eine Verabreichung von Stickstoff erforderlich erweise.

Diese Ergebnisse wurden von A. von Dickow[24]) bestätigt, während Haessner[25]) und A. Helmkampf[26]) zu anderen Ergebnissen an Hand ihrer Versuche gelangten. Helmkampf kam zu dem Schluß, daß eine Pflanzenuntersuchung in Verbindung mit einem Düngeversuch besser geeignet sei, die Düngebedürftigkeit eines Bodens anzugeben. Auch M. Stahl-Schröder[27]) hielt die Wurzelanalyse für nicht ausreichend, weil sich einerseits die Wurzeln nicht genügend quantitativ sammeln lassen und sie auch andererseits Luxuskonsumption treiben.

Die Bedürftigkeit eines Bodens an Phosphorsäure glaubte

---

[18]) Landw. Vers.-Sta. 1912, **77,** 268.
[19]) „ „ „ 1862, **4** und 1864, **6**.
[20]) L. Wochenbl. f. Schlesw.-Holstein 1875, Nr. 24 u. 25.
[21]) Landw. Jahrb. 1886, **15;** 1887, **16.**
[22]) Jahresber. f. Agrik. 1867. 117.
[23]) Grundlagen zur Beurteilung d. Ackerkrume. Wismar 1882. 49.
[24]) Journal f. Landw. 1891, 39.
[25]) Untersuchungen über Pflanzennährstoffe 1887.
[26]) Journal f. Landw. 1892, **40.**
[27]) „ „ „ 1904, **52,** S. 31 u. 193.
[28]) The Journal of. Agric. Sci. Cambridge University 1905.

A. D. Hall[28]) vorteilhaft durch die Aschenanalyse von schwedischen Rüben feststellen zu können, wenn der Boden ungedüngt ist. Jedoch für noch besser hält er die Methode der Bestimmung der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure, durch die er größere Uebereinstimmung als durch die Rübenanalyse allein erzielte. Er ist der Ansicht, daß das Verfahren nicht zweckmäßig sei, aus der Aschen-Analyse bestimmter Pflanzen, für welche man die Normalkonstanten für Phosphorsäure- und Kali-Gehalt ermittelt habe, auf das Düngebedürfnis eines ungedüngten und eines mit dieser Pflanze bebauten Bodens zu schließen, denn es könne dies die chemische Bodenanalyse nicht ersetzen.

F. Münter[29]) hält dagegen die Zuckerrübe für geeigneter, die Düngebedürftigkeit des Bodens anzuzeigen. Er glaubt einen Phosphorsäuremangel feststellen zu können, wenn das von 1 ha geerntete Rübenkraut weniger als 14 kg Phosphorsäure enthält, und er nimmt einen Gehalt von 0,18 % Phosphorsäure in den Wurzeln und einen solchen von 0,40 % im Kraut (bezogen auf Trockensubstanz) als Minimumgrenze an.

Sehr eingehend prüften sodann Pfeiffer und Mitarbeiter[30]) die Pflanzen- und Bodenanalyse auf ihre Brauchbarkeit, das Düngerbedürfnis des Bodens festzustellen. Die Untersuchungen, bei denen Hafer als Versuchspflanze diente, erstreckten sich auf die Nährstoffe N, P und K, und es kommt Pfeiffer bezüglich der Phosphorsäure zu folgenden Resultaten: „Die Phosphorsäureaufnahme der Pflanzen aus dem Boden wird dagegen durch eine Ueberschußdüngung mit N und K_2O wesentlich beeinflußt, und zwar nicht nur in der Richtung, daß die mit den fehlenden Nährstoffen versorgten Pflanzen eine verstärkte Wurzeltätigkeit zu entfalten vermögen, sondern auch direkt durch eine die Löslichkeit der Bodenphosphorsäure verschiebende Wirkung der Düngemittel. Dieser Umstand macht sich bei verschiedenen Bodenarten in sehr verschiedener Weise geltend, und hierin dürfte einer der Hauptgründe zu erblicken sein, weshalb die Pflanzenanalyse kein zutreffendes Bild von dem Phosphorsäurebedürfnisse eines Bodens zu liefern vermag ... Die Extraktion der Böden mit Salzsäure steigender Konzentration unter sonst völlig gleichen Bedingungen hat für die Phosphorsäure und das Kali Zahlen ergeben, in denen sich keine Gesetzmäßigkeit ausprägt, die namentlich einer logarithmischen Gleichung sich nicht anpassen. ... Die Haferpflanzen haben nur etwa 10 % derjenigen Phosphorsäure-Mengen aufzunehmen vermocht, die in einer 1 %igen Salzsäure löslich sind, während beim Kali zwischen den entsprechenden Werten eine sehr viel größere Annäherung besteht. Ein einheitliches Verfahren zur Bestimmung der pflanzenlöslichen Nährstoffe mit Hilfe der Bodenanalyse wird sich daher nicht aufstellen lassen.

Kohlensäuregesättigtes Wasser in Mengen angewandt, wie

[29]) Journ. f. Landw. 1919, **67**, 229. 1920, **68**, 207.
[30]) Landw. Vers.-Stationen, 1915, **86**, 389.

solche beim Vegetationsversuch mit dem Boden in Berührung kommen, löst bedeutend weniger Phosphorsäure, als die Haferpflanzen aus dem betreffenden Boden aufnehmen können. Der zuletzt erwähnte Vorgang muß somit noch von anderen Faktoren beeinflußt werden; Gleichgewichtsstörungen in der Bodenflüssigkeit, Gehalt des Wurzelsaftes an organischen Säuren, Beteiligung der Düngesalze am Lösungsprozeß und sonstige Umsetzungen im Boden dürften hierfür in Frage kommen."

An Hand dieser Versuchsergebnisse kommt der Genannte zu dem vorläufigen Schluß, daß weder die Pflanzen- noch die Boden-Analyse zur Feststellung des Nährstoffgehaltes der Ackerböden geeignet seien.

In einer anderen Arbeit[81]) versuchte derselbe Autor zu ermitteln, ob der Zusammenhang zwischen Ertragssteigerung und Nährstoffgehalt der Pflanzen einer bestimmten Gesetzmäßigkeit unterliege, der eine allgemeingültige Fassung gegeben werden kann. Er stellte zu diesem Zwecke Ertragskurven für steigende Gaben eines Nährstoffes auf und ermittelte zugleich den prozentischen Gehalt des Pflanzenmaterials an dem zu prüfenden Nährstoff, um auf diese Weise zu einem abschließenden Urteil über die allgemeine Anwendbarkeit der Pflanzenanalyse für die Ermittlung des Bodendüngerbedürfnisses zu gelangen. Er kommt zu dem Schluß: „Zusammenfassend ergibt sich, daß die von uns gefundene Gesetzmäßigkeit erst dann auf praktische Verhältnisse übertragen werden kann, wenn Ertragskurven für unter den verschiedenen Bedingungen angestellte Feldversuche vorliegen, die zu den von uns bei Gefäßversuchen ermittelten Beziehungen führen. Aber auch dann bestehen noch allerlei Bedenken. Es scheint uns namentlich fraglich zu sein, ob die Erträge der .... ohne eine Düngung mit dem zu prüfenden Nährstoff belassenen Parzellen vielfach nicht bereits so groß sein werden, daß der Höchstertrag zu früh erreicht werden wird, um den Kurvenverlauf richtig zum Ausdruck bringen zu können. Andererseits scheinen, wie nochmals hervorgehoben sei, Fälle vorzukommen, in denen der prozentische Gehalt der Pflanzenmasse an dem betreffenden Nährstoff durch weitere Zufuhr desselben in leichtlöslicher Form eine derartig geringe Steigerung erfährt, daß die zu ziehende Schlußfolgerung auf große Schwierigkeiten stoßen würde. Es ist möglich, daß die Beschränkung der Analysen auf das Stroh, wie dies hinsichtlich des Kalis der Fall zu sein scheint, bessere Ergebnisse zeitigen wird, indem sich die Wirkung eines Nährstoffmangels in ihm stärker als in den gleichmäßiger zusammengesetzten Körnern ausprägt. Das alles sind indessen Fragen, deren Entscheidung einer späteren Forschung vorbehalten werden muß. Die Pflanzenanalyse vermag schon jetzt in extremen Fällen Anhaltspunkte über das Düngerbedürfnis des Ackerbodens zu liefern, und wir glauben den Nachweis erbracht zu haben,

[81]) Pfeiffer u. Mitarbeiter: Journal f. Landw. 1919, S. 1.

daß wenigstens die Möglichkeit für die höchst wünschenswerte Erweiterung einer derartigen Voraussage auf die besonders zahlreichen Zwischenglieder besteht.

Es ist uns gelungen, die theoretische Grundlage, die für den Stickstoff und die Phosphorsäure, sowie wahrscheinlich auch für das Kali gilt, klarzustellen; dieselbe gipfelt in dem Satze, daß für diejenigen Punkte von Ertragskurven, bei denen die Steigerung dividiert durch den jeweils erzielten Ertrag (die Subtangente) zu denselben Werten führt, die in Frage kommenden Erträge den gleichen prozentischen Nährstoffgehalt aufweisen."

Die bisher aufgezählten Methoden, die entweder auf physiologische Eigenschaften der Pflanze, wie im Falle König und Mitarbeiter, zurückgreifen oder die Pflanzenanalyse als Ausgangspunkt wählen, wie die meisten übrigen, bringen zwar wichtige Anhaltspunkte und Fingerzeige, aber erweisen sich sicherlich als noch nicht genügend durchgearbeitet. Auch die weit fortgeschrittene Methodik der Pflanzenanalyse nach Pfeiffer hat uns leider noch nicht mehr als die Richtung des erfolgversprechenden Weges vorgezeichnet, dessen Gangbarkeit unter den verschiedensten Verhältnissen erst durch weitere eingehende Untersuchungen zu erweisen sein wird. Auch beanspruchen die verschiedenen Kulturpflanzen besondere Mengen der einzelnen Nährstoffe und verhalten sich außerdem sehr abweichend in Hinsicht auf die Aufnahme derselben.

Eine andere, sich im Grunde aber nicht sehr von den bisher besprochenen Methoden unterscheidende Arbeitsweise ist die von Greisenegger und Vorbuchner[32]) empfohlene, die von der Voraussetzung ausgeht, daß die Analyse junger Pflänzchen, die in großer Zahl mit einer nur geringen Bodenmenge in Wechselwirkung gebracht werden, alle von der Pflanze aufnehmbaren Nährstoffe wiedergibt. Diese Methode besteht darin, daß Nährstoffmangelerscheinungen in 100 g Boden durch 50 Gerstenkörner bei einer Versuchsdauer von 35 Tagen ermittelt werden. Dieses Verfahren ist neuerdings von H. Neubauer und W. Schneider[33]) etwas modifiziert worden, indem die Pflanzen nur 14—18 Tage auf dem Boden gezogen und dann auf ihren Nährstoffgehalt untersucht werden. Auf die genauere Wiedergabe der Methodik komme ich später noch zurück, weil ich diese Methode auch bei meinen eigenen Untersuchungen zum Vergleich mit anderen Methoden herangezogen habe.

Vorweg möchte ich aber noch nehmen, daß auch diese Methode noch einer genaueren Durchprüfung unterzogen werden muß, worauf schon Mitscherlich[34]) hingewiesen hat.

Zwar ist die chemische Bodenanalyse, die in verhältnismäßig

---

[32]) Oester.-Ungar. Ztschr. f. Zuckerindustrie u. Landw. 1918, **47**, S. 281.
[33]) Ztschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung Teil A, 2. Bd., S. 329.
[34]) Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens, Berlin Parey 1924.

kurzer Zeit ausgeführt werden kann, noch viel weniger imstande, die Düngebedürftigkeit des Bodens darzutun, worauf auch Pfeiffer schon hingewiesen hat, aber ihr kommt gleichfalls ein gewisser Wert zu, insofern, als sie uns einen Einblick in die im Boden vorhandenen Nährstoffe gewährt.

Nach der bisherigen Auffassung ist der bekannte mit 10%-iger Salzsäure ausgeführte Bodenauszug nur in der Lage, diejenigen Nährstoffmengen des Bodens anzugeben, die in längerer Zeitdauer den Pflanzen zugänglich werden können. Die durch ihn erhaltenen Mengen an in Lösung gegangenen Nährstoffen stehen in keiner direkten Beziehung zur augenblicklichen Assimilationsfähigkeit, sie geben uns also nur Aufschluß über das sogenannte „Nährstoffkapital" des Bodens (Wohltmann). Um nun aber feststellen zu können, welche Mengen von leicht aufnehmbaren Nährstoffen sich im Boden befinden, hat man seit langer Zeit ein Lösungsmittel ausfindig zu machen versucht, das gerade diejenige Menge, die der Pflanze zugänglich ist, in Lösung gehen läßt. Besonders bei der Phosphorsäure ist man in dieser Richtung eifrig bemüht gewesen.

Wir wissen, daß die Pflanzen nicht allein die Nährstoffe, die im Bodenwasser gelöst sind, aufnehmen, sondern daß ihnen durch ihre Wurzeln auch das Vermögen zukommt, gewisse organische Säuren und Kohlensäure auszuscheiden, mit deren Hilfe sie auf die schwerlöslichen Bodenbestandteile lösend einwirken. Weil man aber über die Art der Wurzelausscheidungen nicht mit Sicherheit unterrichtet ist, so wurden viele Lösungsversuche z. B. u. a. mit kohlensäurehaltigem Wasser, mit verschieden prozentiger Zitronen- und Essigsäure-Lösung, mit Ammoniumzitrat und mit verschiedenen Mineralsäurelösungen angestellt. Es liegt diesen Verfahren wohl zugrunde, daß unsere gewöhnlichen Phosphorsäuredünger ihre Phosphorsäure in der einen oder anderen dieser Löslichkeitsformen enthalten.

So glaubten Troutzkoy und Bytchikkima[35]) durch eine stufenweise Behandlung des Bodens mit 1—10%iger Salzsäure einen genügenden Einblick in die Löslichkeitsverhältnisse der leichtlöslichen Pflanzennährstoffe erhalten zu können, während Alex. v. Sigmond[36]) mit Salpetersäurelösungen (0,1—0,2% N_2O_5) bei gleichzeitig durchgeführten Vegetationsversuchen arbeitete. Letzterer kam zu dem Schluß, daß an Kohlensäure reiche Böden einen Phosphorsäure-Mangel zeigen, wenn in den oben erwähnten Lösungen weniger als 0,04% Phosphorsäure vorhanden ist, oder wenn dieselben bei Armut an Kalziumkarbonat 0,025% Phosphorsäure enthalten.

Lemmermann und Mitarbeiter[37]) haben jedoch die von Sigmond aufgedeckte Beziehung zwischen salpetersäurelöslicher Phosphorsäure und dem Wirkungswert der Bodenphosphorsäure

[35]) Résultates des Travaux de la Stat. Exp. Agr. de Plohy durant 1895, 1904.
[36]) Wiener Landw. Ztg. 1902, **42**, 362.
[37]) Landw. Vers.-Stationen 1917, **89**.

bei deren Versuchen nicht finden können, selbst dann nicht, wenn die von ihnen aufgestellte „relative Löslichkeit“ in Rücksicht gezogen wurde. Hierunter verstehen die Autoren das Verhältnis von der in dem betr. Lösungsmittel löslichen Menge Phosphorsäure zum Gesamtphosphorsäuregehalt des Bodens.

Ebenfalls mit Salpetersäure arbeitete G. Fraps[38]), er wandte eine $^1/_5$ normale Salpetersäurelösung an und verglich die auf diese Weise gewonnenen Ergebnisse mit denen eines gleichzeitig ausgeführten Vegetationsversuches. Unter der Voraussetzung, daß der Boden nicht sehr kalkhaltig ist, hält er das erwähnte Lösungsmittel zur Bestimmung der den Pflanzen zur Verfügung stehenden Phosphorsäure für geeignet. Der Vegetationsversuch ließ erkennen, daß die in der Ernte gefundene Phosphorsäuremenge mit der in $^1/_5$-Normal Salpetersäure löslichen Bodenphosphorsäure übereinstimmte. O. M. Shedd[39]) hält desgleichen die $^1/_5$ normale Salpetersäure für ein geeignetes Lösungsmittel, aber er behandelt den lufttrockenen Boden (unter 2 mm) mit Salpetersäure in einem Verhältnis, daß auf je 1 g Boden je 10 ccm 0,2 n Salpetersäurelösung kommen. Enthält die Bodenprobe aber Kalziumkarbonat, so muß eine stärkere Säure angewandt werden, um das erwähnte Verhältnis von Boden zur Flüssigkeit nicht zu ändern, dies geschieht, indem man das Karbonat abstumpft. Er fand nach dieser Methode bei gleichzeitigem Umschütteln innerhalb einer Zeitdauer von 5 Minuten gute Ergebnisse.

Maxwell[40]) erblickt in kohlensäure- und aminosäurehaltigen Lösungen, Reverlin und de la Harpe[41]) in der Oxalsäure ein Mittel, um die Menge der vermutlich im Boden vorhandenen Pflanzennährstoffe zu bestimmen. Auch Kudaschew[42]) sieht in der halbprozentigen Oxalsäure ein Mittel, welches ungefähr die von der Pflanze aufgenommenen Mengen in Lösung bringt.

Von Mitscherlich[43]) ist dagegen stets darauf hingewiesen worden, daß das mit Kohlensäure gesättigte Wasser das einzige und beste Mittel zu diesem Zwecke sei, weil er im Gegensatz zu anderen Forschern annimmt, daß nur die Kohlensäure als Lösungsmittel in Frage kommt, denn sie sei das im Boden nur allein vorhandene lösende Agens. Sowohl durch die Zersetzung der Humusstoffe als auch durch die Tätigkeit der Mikroorganismen und der Pflanzenwurzeln wird nur Kohlensäure ausgeschieden, denn er sagt hierzu: „Das Maximum der unseren Kulturpflanzen zur Verfügung stehenden Salze des Bodens bilden somit die in mit Kohlensäure gesättigtem Wasser löslichen Salze, sofern man, wie es bislang den Anschein hat, die anderen Wurzelausscheidungen der Pflanzen hiergegen vernachlässigen kann.“

---

[38]) Journ. of the american Chem. Soc. 1904, **28,** 7.
[39]) Soil Science Bd. 15, 1923.
[40]) Landw. Vers.-Stat. 1898, **50,** 331.
[41]) Landw. Vers.-Stat. 1898, **49,** 287.
[42]) M. Agric. Exp. Stat. Rep. 1900, S. 7.
[43]) Landw. Jahrbücher 1909, **41,** 134.

An einer anderen Stelle erwähnt Mitscherlich[44]), daß „die durch die Pflanze aufgenommene Nährstoffmenge gleich ist derjenigen Menge dieses Nährstoffes, welche unter gleichen Löslichkeitsbedingungen in kohlensäurehaltigem Wasser löslich ist."

Lemmermann dagegen bestreitet dieses. Er vermag nicht die Ansicht zu teilen, daß die durch gesättigtes kohlensäurehaltiges Wasser in Lösung gehenden Bestandteile das Maximum an Nährstoffen, welches durch die Pflanzen aufgenommen werden könne, darstellen, sondern vertritt den Standpunkt, daß auch die im Boden entstehenden organischen Säuren sowie gewisse Salze an der Lösung der Bodennährstoffe mitwirken, ebenso wie auch diejenigen organischen Säuren, die von den Pflanzenwurzeln ständig ausgeschieden werden. Desgleichen dürften auch die sich im Boden vollziehenden bakteriologischen Umsetzungen nicht vergessen werden. Schon Pfeiffer und Blanck[45]) haben diesen Standpunkt, der durch folgende Worte zum Ausdruck kommt, gegenüber Mitscherlich vertreten: „Wie man die Sache auch dreht und wendet, wir kommen immer zu dem gleichen Ergebnis, daß die Mitscherlichschen Versuche nicht als Beweis für die ausschließliche Beteiligung der Kohlensäure an der Aufschließung der Bodennährstoffe gelten können, daß sie vielmehr umgekehrt auf ein Eingreifen anderer Faktoren, die bei den verschiedenen Pflanzen in verschiedenem Grade zur Geltung kommen, deutlich hinweisen."

Unter Berücksichtigung der Azidität des von den Pflanzen ausgeschiedenen Wurzelsaftes setzte Dyer[46]) Versuche mit 1 %iger Zitronensäure an. Er bestimmte die Azidität von 100 gesunden Pflanzenwurzeln, und zwar von 20 verschiedenen Arten. Den aus seinen Aziditätsbestimmungen gefundenen Mittelwert rechnete er auf kristallisierte Zitronensäure um und fand, daß dieser Aziditätswert mit dem einer 1 %igen Zitronensäure-Lösung übereinstimmte. Somit stellte Dyer Beziehungen zwischen Assimilation, Wachstum und in 1 %iger Zitronensäure löslicher Bodenphosphorsäure fest. Er folgert aus seinen Versuchen, daß eine jede Pflanze für ihr normales Wachstum eine gewisse Menge löslicher Bodenphosphorsäure braucht. Auch glaubt er, daß, wenn nur 0,01 % Phosphorsäure im Boden durch 1 %ige Zitronensäure in Lösung gehen, diese Menge ausreicht, um den Anforderungen der Pflanze zu entsprechen. Es sei auch noch erwähnt, daß er seinen Boden 7 Tage der Säure-Einwirkung aussetzte und die Proben 400 mal während dieser Zeit schüttelte.

Die 1 %ige Zitronensäure ist sodann vielfach als Mittel zur Erkennung der Phosphorsäurebedürftigkeit des Bodens herangezogen worden, so u. a. von Berju[47]), der aber eine andere

[44]) Landw. Jahrbücher 1914, **83**, 345.
[45]) Landw. Vers.-Stat. 1912, **77**, 217.
[46]) Journ. of the chem. Soc. 1894, S. 115, 167.
[47]) Landw. Vers.-Stat. 1901, **55**.

Versuchsanordnung als Dyer traf. Er schüttelte seine Proben am 1. Versuchstage während einer Zeitdauer von 6 Stunden im Wagnerschen Schüttelapparat, ließ sie dann über Nacht stehen (10 Stunden), um sie am anderen Tage wieder 2 Stunden zu schütteln. O. Engels konnte diesen Befund nicht bestätigen, während Schutt, Charron[48]) und Leather[49]) die Methode Dyer's vertreten.

Auch Lemmermann[50]) hält die Methode Berjus nicht für ausreichend. Er gelangte mit seiner „kontinuierlichen Extraktion", einer Methode, die auch Mitscherlich vom theoretischen Standpunkt aus für die beste hält, zu besseren Ergebnissen.

Nach Schneidewind[51]) erweist sich aber der prozentische Gehalt an in verdünnten Säuren löslicher Bodenphosphorsäure überhaupt nicht als ein sicherer Anhaltspunkt zur Erkennung des Phosphorsäurebedürfnisses eines Bodens. Aus den Daten der Schneidewindschen Versuche glaubt allerdings Lemmermann[52]) dennoch Beziehungen zu dem von ihm aufgestellten Begriff der relativen Löslichkeit (c. c. S. 16) entnehmen zu können. Der die relative Löslichkeit wiedergebende Ausdruck kann nach ihm die Bedürftigkeit eines Bodens für Phosphorsäure sehr wohl wiedergeben.

Lemmermann und Mitarbeiter[53]) haben zwei mit der Frage der „relativen Löslichkeit" sich eingehend beschäftigende Arbeiten veröffentlicht. Die zweite Arbeit, die im wesentlichen die Ergebnisse der ersten bestätigt, wurde nur deshalb ausgeführt, weil sich die Versuchsbedingungen das erste Mal nicht sehr günstig erwiesen hatten, und weil sich Mitscherlich[54]) in einer kritischen Besprechung mit der Auswertung der Ergebnisse nicht einverstanden erklärte.

Es waren namentlich 2 Gesichtspunkte, die Lemmermann bei seinen Arbeiten leiteten:

1. Es sollte ein Ausdruck für die relative Löslichkeit der Bodennährstoffe gefunden werden. Zu diesem Zweck untersuchte er die Löslichkeitsverhältnisse in verschiedenartigen Lösungsmitteln und setzte die erhaltenen Werte in Beziehung zu der Gesamtmenge des betr. Bodennährstoffes.
2. Wollte er sich „Auskunft verschaffen über den Wirkungswert einiger Bodennährstoffe, losgelöst von dem verschiedenen Charakter der Böden, sowie darüber, ob man diesen zu ermittelnden Wirkungswert mit den auf analytischem Wege gewonnenen Löslichkeitsverhältnissen in Einklang bringen kann."

Er führte die Versuche für Kali und Phosphorsäure durch und

---

[48]) Journal American Chem. Soc. 1908, **30,** 1020.
[49]) Exp. Stat. Record 1908, **19,** 716.
[50]) Landw. Vers.-Stationen 1917, **41.**
[51]) Ernährung der Landw. Kulturpflanzen s. auf S. 188.
[52]) Landw. Vers.-Stationen 1917, **89,** 122.
[53]) Landw. Vers.-Stationen 1917, **89** u. 1921 **98.**
[54]) Landw. Vers.-Stationen 1917, 375.

kam bezgl. der Phosphorsäure zu folgendem Schluß: „Zur Bestimmung der relativen Löslichkeit der Phosphorsäureverbindungen des Bodens hat sich von den geprüften Lösungsmitteln die 1 %ige Zitronensäure am besten bewährt.“ Ferner vertritt er die Ansicht, daß durch „die Bestimmung der relativen Löslichkeit der Bodenphosphorsäure mit Hilfe einer 1 %igen Zitronensäurelösung es uns gestattet ist, den physiologischen Wirkungswert der Bodenphosphorsäure in zufriedenstellender Weise zum Ausdruck zu bringen, und daß sie deshalb ein wertvolles Hilfsmittel zur Charakterisierung der Böden ist.“

Ueberblicken wir nun die bisher mit den verschiedensten Methoden der Bestimmung des Düngebedürfnisses der Böden für Phosphorsäure gemachten Erfahrungen, so scheint zwar von den chemischen Methoden der Zitronensäure als Lösungsmittel eine besondere Bedeutung zuzukommen, und der von Lemmermann eingeführte Begriff der relativen Löslichkeit ganz besondere Beachtung zu verdienen, indem er das Verhältnis von vorhandener Gesamtphosphorsäure und leichtlöslicher Phosphorsäure zum Ausdruck bringt. Allerdings scheinen seine Befunde noch nicht genügend gesichert zu sein, wie dieses aus der folgenden Wiedergabe seiner Werte hervorgehen dürfte:

Unvermischter Boden[55]).

Boden	Mehrertrag durch P_2O_5-Düngung in g	Gesamt-P_2O_5	in 1 % Zitronensäure lösliche P_2O_5	Relative Löslichkeit
Boche	0,69	0,070	0,014	**20,00**
Dahlem	1,01	0,064	0,026	40,62
Prüfer	1,11	0,098	0,030	30,30
Rettgau	4,57	0,136	0,038	27,94
Potsdam	5,47	0,074	0,005	**6,77**

Ein Vergleich der für die relative Löslichkeit gefundenen Werte mit denen des Ertrages läßt wohl im gleichen Sinne verlaufende Beziehungen erkennen, aber eine nähere Betrachtung weist auf keine proportionalen Verhältnisse zwischen der Größe des Ausfalls für die relative Löslichkeit und der Höhe des Ertrages hin.

Da die Kenntnisse und Erfahrungen, die man von der chemischen Natur der phosphorsäurehaltigen Bestandteile im Boden besitzt, nur schwer mit dem Begriff der relativen Löslichkeit in Verbindung zu bringen sind, so erschien eine nähere Durchprüfung an Hand einer größeren Anzahl von Bodenproben ratsam. Eine solche Vornahme ließ nicht nur näheren Aufschluß, sondern auch die Ermittelung einer chemischen Methode erhoffen, die in ihren Werten noch bessere Uebereinstimmung in besagter Beziehung

[55]) Landw. Vers.-Stationen 1917, **89**, S. 119.

Vermischte Böden mit Sand[56]).

Boden	Mehrerträge in g	Relative Löslichkeit
Potsdam	0,41	6,77
Birkenmoor	0,82	19,44
Oberzwehren	0,82	20,00
Boche	1,20	20,00
Udars	1,59	29,87
Königsberg	1,70	**47,85**
Rettgau	1,73	27,94
Standenbühl	2,54	38,51
Prüfer	2,67	30 67
Schwiebus	2,97	**76,92**
Kulmke	3,45	41,38
Zielenzig	3,67	47,75
Rodenkirchen II	3,70	**29,45**
Wittstock	4,55	47,50
Dahlem	4,79	**40,62**

zeigt, indem sie schnell und einwandfrei das Phosphorsäurebedürfnis erkennen läßt. Denn es kann keinem Zweifel unterliegen, daß ein solches Verfahren, vorausgesetzt, daß es einwandfreie Schlüsse zuläßt, wegen seiner schnellen Ausführung allen anderen vorzuziehen ist.

Nebenbei sollten die Ermittelungen auch dazu dienen, Erfahrungen über den Phosphorsäuregehalt hannoverscher Böden zu sammeln, welche Kenntnis uns bei dem heutigen regen Interesse für die Phosphorsäure-Frage nur erwünscht sein mußte.

Für alle in dieser Richtung ausgeführten Untersuchungen hat als Vergleich der Vegetationsversuch gedient, denn diese Methode hat sich seit jeher als der bisher mit dem größten Erfolg beschrittene Weg erwiesen, indem es mit Hilfe der sogen. Differenzmethode einzig und allein gelingt, das Zulangen oder Nicht-Zulangen eines Bodennährstoffes darzutun. Ein solcher Versuch kann entweder im Freien auf dem Boden, über dessen Nährstoffgehalt man sich unterrichten will, ausgeführt werden oder auch mit dem gleichen Boden in Vegetationsgefäßen zur Durchführung gelangen. In beiden Fällen erhält man aber erst nach Ablauf einer ganzen Vegetationszeit Antwort auf die gestellte Frage, d. h. mit anderen Worten, die Methode beansprucht eine längere Zeitdauer, und da beim Feldversuch sogar noch recht häufig störende Einflüsse, deren man nicht immer Herr werden kann, eingreifen, so ist das ganze Verfahren sicherlich mit einem großen Mangel behaftet. Jedoch wie die Verhältnisse nun einmal liegen, ist diese Methode doch nur einzig und allein in der Lage, den gewünschten Erfolg zu versprechen. Der Vegetationsversuch in Gefäßen schließt die oben beim Freilandversuch gerügten Mängel zwar aus, aber

[56]) Landw. Vers.-Stationen 1917, **89**, S. 116.
[57]) Düngemittel — Thaer Bibliothek Bd. 7. Aufl. S. 30.

dafür können sich bei ihm wieder andere Fehlerquellen, die das Ergebnis beeinträchtigen, einstellen. Wenn dieses nun auch zugegeben werden muß, so können wir uns aber nicht dem ablehnenden Standpunkt Paul Wagner's[57]) u. a. in dieser Frage anschließen, sondern sehen vorläufig im Vegetationsversuch noch die einzige Möglichkeit gegeben, das Düngebedürfnis eines Bodens zu ermitteln, so daß er auch zum Ausgangspunkt der folgenden Untersuchungen gewählt wurde. Die Versuche, die sich, wie schon erwähnt auch u. a. auf die Durchprüfung der Lemmermann'schen Versuche an Hand einer größeren Anzahl von Bodenproben erstrecken sollten, setzen sich im einzelnen aus der Ermittlung der Gesamtphosphorsäure und der in 1 % iger Zitronensäure löslichen Bodenphosphorsäure zusammen. Jedoch begnügte ich mich nicht hiermit, sondern stellte auch noch Versuche mit 10 % iger Salzsäure und $^1/_5$-normaler Salpetersäure an, desgleichen wurden auch die in $^1/_2$ % iger Zitronensäure löslichen Phosphorsäure-Mengen ermittelt, und schließlich die Neubauer'sche Methode zum Vergleich der Ergebnisse der relativen Löslichkeit herangezogen.

Auf Grund all dieser Ermittlungen erhoffte ich einen näheren Einblick in die Löslichkeitsverhältnisse der Phosphorsäureverbindungen des Bodens zu erhalten, und es sollte ein Vergleich dieser Befunde mit den Ergebnissen des Vegetationsversuches und der Pflanzenanalyse Aufschluß über die etwa vorhandenen Zusammenhänge und Beziehungen bringen.

Wieweit sich nun aber solches als zutreffend erwiesen hat, werden die späteren Zeilen darlegen.

Die Untersuchung erstreckte sich auf 15 Böden, die auch zugleich als Material für die Vegetationsversuche dienten. Alle Böden sind bis auf 2, die aus der Provinz Hessen-Nassau stammen, aus der Provinz Hannover.

Für die außerordentlich liebenswürdige Bereitstellung der Bodenproben bin ich den Herren, die mir die Böden sandten, zu großem Danke verpflichtet. Es sei mir gestattet, denselben auch an dieser Stelle zum Ausdruck zu bringen.

Zur Kennzeichnung der chemischen und physikalischen Beschaffenheit dieser Böden seien nachstehende Angaben vorausgeschickt:

Tabelle A.

Boden	Herkunftsort	Hygroskopizität	Ton-Gehalt[58]) n. Atterberg	Wasserkapazität
A	Klostergut Mönchehof	2,11	5,78	24,67
B	Haldorf, Bez. Cassel	5,10	11,01	34,34
C	Böbber am Deister	3,15	8,28	28,59
D	Hajen bei Hameln	6,15	12,89	30,21
E	Weende	4,21	9,59	29,67
F	Grone	5,72	12,24	32,81
H	Gut Lemshausen	3,35	8,18	28,58
K	Gut Lemshausen	4,07	9,92	30,62
L	Gut Lemshausen	4,60	10,87	29,56
M	Hohenbostel am Deister	3,30	6,13	34,42
N	Bösinghausen	6,41	28,88	30,46
O	Ballenhausen	5,09	9,24	31,27
P	Versuchsfeld Göttingen	10,97	13,16	39,21
Q	Dramfeld	5,73	10,47	30,87
R	Hainholzhof	5,51	9,94	29,19

Tabelle B.

Chemische Analyse. Salzsäure-Auszug.

(25 g des Bodens mit 125 ccm 10%-iger Salzsäure während der Zeitdauer von 4 Stunden mit Rückflußkühler auf dem siedenden Wasserbade behandelt.)

Boden	P_2O_5 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	CO_2 %	Glühverlust	
A	0,161	0,826	1,203	0,932	0,150	0,215	2,14	Sand. Lehmboden
B	0,151	2,460	3,694	0,694	0,107	0,095	3,18	Lehm
C	0,157	1,945	1,998	0,761	0,122	0,150	2,52	milder Lehm
D	0,216	3,247	3,319	0,934	0,232	0,100	4,60	Lehm
E	0,159	2,007	2,154	1,033	0,158	0,225	3,63	Lehm
F	0,316	2,511	2,708	3,665	0,253	1,115	6,97	Humoser Lehm
H	0,163	2,055	2,312	0,903	0,176	0,135	3,12	milder Lehm
K	0,186	1,883	2,755	0,632	0,194	0,105	4,69	Lehm
L	0,215	2,870	2,652	0,963	0,203	0,100	3,45	Lehm
M	0,174	1,039	2,161	0,776	0,126	0,125	3,67	milder Lehm
N	0,203	2,586	6,854	0,967	0,193	0,150	5,18	Ton
O	0,213	2,672	2,149	0,914	0,186	0,125	3,60	Lehm
P	0,981	2,236	4,218	2,882	0,205	1,985	14,64	Stark. hum. Lehm
Q	0,181	1,870	4,528	0,864	0,212	0,345	4,08	Lehm
R	0,243	1,515	3,092	1,033	0,438	0,275	3,86	Lehm

Betrachten wir den Phosphorsäuregehalt obiger Böden, so erkennen wir, daß nach der bekannten Angabe R. Heinrichs alle von uns benutzten Böden in die Gruppe solcher fallen, die keiner oder nur schwacher Phosphorsäure-Düngung bedürftig sind. Legen wir aber das bekannte Wohltmann'sche Schema zugrunde, so sind die Böden P und F als sehr reich an Phosphorsäure und sogar als raubbauzulässig zu bezeichnen, die Böden R, D, L und O stehen ihnen nahe und sind demzufolge nur als

[58]) Atterberg, Int. Mitt. f. Bodenkunde, Bd. 2, S. 312.

schwach ersatzbedürftig für Phosphorsäure zu betrachten. Alle übrigen Böden, selbst auch Boden B mit dem geringsten Gehalt von 0,151 % Phosphorsäure, gehören noch in die gleiche Gruppe der an Phosphorsäure reichen, darum nur schwach bedürftigen Böden. Für die vorliegenden Untersuchungen muß besonders auf den vorstehenden Sachverhalt hingewiesen werden, denn besteht diese landläufige Ansicht von der Beurteilung eines Bodens nach dem Ausfall des Salzsäure-Auszuges zu Recht, so hätte es eigentlich gar keinen Sinn gehabt, mit dem uns zur Verfügung stehenden Bodenmaterial weitere Untersuchungen auszuführen, da ja nach dieser Meinung in allen Fällen kein Phosphorsäurebedürfnis vorliegt.

Außer den Werten für Phosphorsäure zeigt aber die vorstehende Tabelle noch diejenigen für Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, CO_2 und Glühverlust. Das sind Bestandteile, die mit Ausnahme des Kalkes bei der Nährstoffanalyse des Bodens meistens nicht bestimmt und angegeben werden, weil man sie im allgemeinen nicht für notwendig für die Beurteilung des Nährstoffzustandes eines Bodens hält.

Bei der Frage nach dem Düngebedürfnis eines Bodens für Phosphorsäure dürfen sie aber aus dem Grunde nicht vernachlässigt werden, weil die Phosphorsäure des Bodens gerade an Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO oder MgO gebunden sein kann oder in organischer Bindung vorhanden ist, und somit die Menge und Anteilnahme dieser Bodenbestandteile für die Löslichkeitsverhältnisse von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Die CO_2 wurde ermittelt, um zu erfahren, ob von dem in Salzsäure löslichen Kalk ein größerer oder geringerer Teil als Karbonat zugegen ist, was sich gleichfalls für die aufgeworfene Frage von größtem Werte zeigt.

Auf Grund dieser Ueberlegungen und des vorliegenden Analysenmaterials soll gewissermaßen als Einleitung zu den folgenden experimentellen Untersuchungen vorweg versucht werden, vorauszusagen, wie sich die einzelnen Böden ohne Phosphorsäuredüngung verhalten dürften, d. h. es soll ihr Düngerbedürfnis nach dieser unter Heranziehung der Werte für Ca, Al, Fe bisher noch wenig[59]) geübten Interpretation der Analysenbefunde dargelegt werden, um damit zu zeigen, in welchem Grade es dennoch möglich ist, aus dem Salzsäure-Auszug in besagter Richtung Schlüsse zu ziehen. Aus den oben dargelegten Gründen erweist sich vorliegendes Bodenmaterial aber als ganz besonders geeignet hierfür, weil ja der Phosphorsäure-Gehalt der benutzten Böden allein, wie wir gesehen haben, keinen bindenden Schluß in dieser Richtung zuläßt.

Die Böden P, F, R, D, L, O besitzen sämtlich einen außergewöhnlich hohen Gehalt an Phosphorsäure, sodaß man annehmen müßte, daß sie auf eine Phosphorsäuredüngung nicht reagieren würden. Dieses ist denn auch durch den Vegetationsversuch für

[59]) Vergl. Liebscher, Journ. f. Ldw. 1895, S. 207.

sie festgestellt worden. Bei näherer Betrachtung der Gehaltszahlen für Al, Fe, Ca geht dieses Verhalten aber auch schon an und für sich hervor, denn Al_2O_3 und Fe_2O_3 sind nicht in solchen Mengen vorhanden, daß man annehmen müßte, die Phosphorsäure sei mit ihnen zu schwerlöslichen Phosphaten verbunden, während die übermäßige Phosphorsäure-Menge im Boden P wahrscheinlich z. T. auf die reichlich vorhandene organische Substanz zurückführbar ist.

Auch die Böden N, K, Q, M verfügen noch über einen reichlichen Phosphorsäuregehalt, jedoch bei N und Q sind die Fe_2O_3-Mengen verhältnismäßig hoch, so daß in beiden Fällen die Phosphorsäure als schwerlöslich vorliegend, den Pflanzen wenig zugänglich erscheint. In den Böden H, A, E, C, B sind die Phosphorsäure-Mengen relativ geringer, und nur A verfügt über einen sehr geringen Gehalt an Sesquioxyden, so daß die Phosphorsäure in A als wirksam, in B, C, E, H als nicht mehr wirksam anzunehmen ist. Diese Annahmen sind bis auf den Boden E durch den Vegetationsversuch bestätigt worden, was hier schon vorausgeschickt sein möge.

Es ist also auf diese Weise die Bedürftigkeit der Böden an Phosphorsäure bei 14 von 15 benutzten Böden richtig erkannt worden.

Um die geplanten Untersuchungen ausführen zu können, war es weiterhin nötig, den Gehalt der Böden an in verschiedenen Lösungsmitteln löslicher Phosphorsäure zu ermitteln, und zwar sollte die Gesamtphosphorsäure-Menge, die in 1- und $^1/_2$ %-iger Zitronensäure sowie die in $^1/_5$ n Salpetersäure lösliche Phosphorsäure bestimmt werden. Die zu diesem Zwecke benutzten Methoden waren folgende:

I. Bestimmung der Gesamtphosphorsäure durch Aufschluß mit Königswasser nach der Methode von H. Fischer[60]). 5 g Boden wurden mit je 50 ccm Königswasser eingedampft, der Rückstand geglüht, um die Pikrate zu zerstören, und nochmals mit derselben Menge Königswasser eingedampft. Schließlich wurde die Salzsäure durch Eindampfen mit Salpetersäure vertrieben, der Rückstand mit salpetersäurehaltigem Wasser aufgenommen, die Lösung filtriert und im Filtrat die Phosphorsäure nach Schmitz[61]) bestimmt.

II. Die Bestimmung der in 1 %iger Zitronensäure löslichen Phosphorsäure erfolgte in der von Lemmermann[62]) angegebenen Weise, jedoch mit der Abänderung, daß anstatt 100 nur 50 g Boden mit 500 statt 1000 ccm 1 %iger Zitronensäurelösung behandelt wurden. Am ersten Tage wurde sechs Stunden im Rotierapparat geschüttelt, nach dem Schütteln blieben die Flaschen 10 Stunden stehen, um nach Verlauf dieser Zeit nochmals 2 Stunden geschüttelt zu werden. Alsdann wurde filtriert und nach Abscheidung der Kieselsäure die Phosphorsäure als $Mg_2P_2O_7$ bestimmt.

[60]) Intern. Mitt. f. Bodenkunde Bd. II, 1912, S. 541.
[61]) Treadwell, Analytische Chemie, II. Bd., S. 373. Auflage 11.
[62]) a. a. O. S. 13.

III. Behufs Bestimmung der in $^1/_2$ %-iger Zitronensäure löslichen Phosphorsäure wurde ganz entsprechend der vorigen Methode, nur unter Anwendung von $^1/_2$ %-iger Zitronensäure, verfahren.

IV. Hinsichtlich der Bestimmung der in 10%-iger Salzsäure löslichen Phosphorsäure sei auf die Angaben der Tabelle B (S. 297) hingewiesen.

V. Zum Zwecke der Bestimmung der in $^1/_5$ n Salpetersäure löslichen Phosphorsäure wurde die von Fraps eingeführte, aber von O. M. Shedd abgeänderte Methode herangezogen, d. h. es wurden 100 g Boden mit 1000 ccm $^1/_5$ n Salpetersäure 5 Minuten bei Zimmertemperatur jede Minute einmal geschüttelt. Enthält die Bodenprobe $CaCO_3$, so wurde durch entsprechende stärkere Säuregabe das Karbonat neutralisiert, ohne das Verhältnis von Boden zu Säure zu verändern.

Bei den Versuchen mit verschiedenen chemischen Lösungsmitteln wurde nur in einem Falle, und zwar bei 0,2 n Salpetersäure, zuvor das Kalziumkarbonat neutralisiert, während in allen anderen Fällen die Kohlensäure-Gehalte unberücksichtigt blieben.

Die Frage, ob die Kohlensäure vor jedem Versuche zu neutralisieren ist, ist noch nicht einwandfrei beantwortet worden. Um hierin Klärung zu schaffen, setzten wir Versuche an. Behandelten wir reine Zitronensäure mit der äquivalenten Menge Kalziumkarbonat, so entstand ein weißer wasserlöslicher Niederschlag von Kalziumzitrat. Hätte man es im Boden nun mit einem ähnlichen homogenen Körper zu tun, so müßte allerdings bei jedem Schüttelversuch das Kalziumkarbonat stets neutralisiert werden. Jedoch zu anderen Ergebnissen gelangten wir in folgenden Versuchen. Auf ein Gemisch von 10 g Kalziumkarbonat und 10 g Dikalziumphosphat ließen wir in einem Falle die dem $CaCO_3$ äquivalente Menge Zitronensäure, also 14 g einwirken, während in allen anderen Versuchsreihen eine stetig fallende Menge Zitronensäure angewandt wurde.

Nach dem ersten Versuch hätte man annehmen können, daß die Zitronensäure zunächst $CaCO_3$ neutralisieren würde, und da in keinem der anderen Fälle überschüssige Zitronensäure gegeben wurde, so durfte eigentlich keine Phosphorsäure gelöst werden. Doch die Analyse ergab folgende Zahlen.

Versuch		Konzentration der Zitronens.	Gefundene Mengen an $Mg_2P_2O_7$
1	10 g $CaHPO_4$ + 10 g $CaCO_3$	5,6 %	131,0
2	10 g „ + 10 g „	4,2 %	101,8
3	10 g „ + 10 g „	2,8 %	81,3
4	10 g „ + 10 g „	1,96 %	72,3
5	10 g „ + 10 g „	1,4 %	73,3
6	10 g „ + 10 g „	0,56 %	47,3
7	10 g „ ohne „	0,0 %	33,5
8	10 g „ + 10 g „	0,0 %	34,3

Diese Werte lassen einwandfrei erkennen, daß die Zitronensäure nicht nur auf $CaCO_3$ einwirkt, sondern daß sie gleichzeitig noch imstande ist, nicht unbeträchtliche Mengen Phosphorsäure in Lösung zu bringen.

Wenden wir diese Ergebnisse auf unsere Schüttelversuche an, so können wir sagen: neutralisiert man das Kalziumkarbonat vor jedem Versuch, so wirkt diese Säuremenge sofort lösend auf Phosphorsäure ein, und infolgedessen wird man stets eine zu große Menge Phosphorsäure finden. Berücksichtigt man andererseits den Kohlensäuregehalt des Bodens nicht, d. h. wird nicht neutralisiert, so wird die lösende Wirkung der zugesetzten Säure aber nur teilweise durch Kalziumkarbonat vermindert werden. Wir werden in letzterem Falle eine geringere Menge Phosphorsäure finden, aber unter den natürlichen Verhältnissen besser entsprechenden Bedingungen.

Die auf diese Weise in Lösung gebrachten Phosphorsäure-Mengen sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Tabelle C.

Boden-Serie	Gesamt P_2O_5 %	P_2O_5 in 10%-iger HCl löslich in %	In 1%-iger Zitronens. lösliche P_2O_5 %	In ½%-iger Zitronens. lösliche P_2O_5 in %	In ⅕ n-HNO_3 lösl. P_2O_5 in %
A	0,180	0,161	0,067	0,035	0,032
B	0,178	0,151	0,031	0,019	0,020
C	0,182	0,157	0,026	0,016	0,017
D	0,246	0,216	0,089	0,045	0,044
E	0,214	0,159	0,072	0,035	0,035
F	0,364	0,316	0,147	0,079	0,074
H	0,215	0,163	0,032	0,015	0,018
K	0,223	0,186	0,089	0,047	0,043
L	0,253	0,215	0,110	0,054	0,058
M	0,184	0,174	0,076	0,042	0,044
N	0,253	0,203	0,032	0,012	0,019
O	0,278	0,213	0,129	0,067	0,066
P	1,096	0,981	0,635	0,411	0,353
Q	0,204	0,181	0,044	0,026	0,028
R	0,275	0,243	0,104	0,056	0,050

Bei einem Vergleich dieser Werte untereinander fällt die recht gute Uebereinstimmung zwischen der in ½%-iger Zitronensäure und ⅕ n HNO_3 löslichen Phosphorsäure auf.

Wie schon hervorgehoben, sollte der Vegetationsversuch als die sicherste aller Methoden zur Ermittelung des Düngerbedürfnisses als Ausgangspunkt und Grundlage für die nachfolgenden vergleichenden Untersuchungen dienen. Er wurde in folgender Weise durchgeführt. Je 17 kg des lufttrockenen Bodens wurden in Vegetationsgefäße aus Zink von 33 cm Höhe und 25 cm Durchmesser eingefüllt; vom Boden N konnten nur je 10 kg in Anwendung kommen, so daß hier entsprechend niedrigere Gefäße von gleichem Durchmesser Benutzung finden mußten. Die Vor-

bereitung des Bodens, sein Einfüllen und die Düngung erfolgte nach den üblichen Vorschriften des exakten Gefäßdüngungsversuches[63]). Um die Frage nach dem Phosphorsäure-Düngebedürfnis des Bodens zu beantworten, genügten schon für einen jeden Boden 6 Gefäße, von denen 3 Volldüngung, die übrigen eine solche ohne Phosphorsäure verabreicht erhielten.

Die Volldüngung bestand aus:

4 g K_2O als K_2SO_4
2,5 g P_2O_5 als $CaHPO_4$
1,8 g N als NH_4NO_3

Außerdem wurden noch 1,5 g $MgCl_2$ und etwas $FeCl_3$ verabfolgt. Das Ammoniumnitrat wurde in zwei Gaben und zwar zu Beginn des Versuches und am 13. Mai hinzugesetzt.

Zu bemerken ist noch, daß die Düngung, soweit es sich als angängig erwies, dem Bodenmaterial in Lösung gegeben wurde. Der Versuch, dessen Anordnung aus folgendem Schema hervorgeht, wurde mit Hafer als Versuchspflanze durchgeführt.

Tabelle D.

Gefäß	Boden	Düngung	Boden-Trockensubstanz in kg	Gefäß von	Boden	Düngung	Boden-Trockensubstanz in kg
1—3 4—6	E	Volldüngung ohne P_2O_5	16,490	49—51 52—54	F	Volldüngung ohne P_2O_5	16,225
7—9 10—12	O	Volldüngung ohne P_2O_5	15,952	55—57 58—60	H	Volldüngung ohne P_2O_5	15,870
13—15 16—18	M	Volldüngung ohne P_2O_5	16,710	61—63 64—66	K	Volldüngung ohne P_2O_5	15,950
19—21 22—24	L	Volldüngung ohne P_2O_5	16,132	67—69 70—72	P	Volldüngung ohne P_2O_5	11,722
25—27 28—30	A	Volldüngung ohne P_2O_5	16,590	73—75 76—78	Q	Volldüngnng ohne P_2O_5	15,655
31—33 34—36	D	Volldüngung ohne P_2O_5	16,290	79—81 82—84	R	Volldüngung ohne P_2O_5	14,952
37—39 40—42	C	Volldüngung ohne P_2O_5	16,680	85—87 88—90	N	Volldüngung ohne P_2O_5	9,399
43—45 46—48	B	Volldüngung ohne P_2O_5	16,592				

Der Hafer gelangte am 14. April zur Aussaat, und zwar wurden 24 Körner pro Gefäß ausgelegt. Sein Auflauf erfolgte gleichmäßig auf allen Töpfen am 20. April. Am 28. April wurden die Pflanzen bis auf 12 pro Gefäß verzogen. Sämtliche Pflanzen ließen bis zum 5. Mai das gleich gute Wachstum erkennen, erst von dieser Zeit an machten sich einige Unterschiede bemerkbar, und zwar zeigten die mit Volldüngung versehenen Pflanzen in der Serie 85—90 ein weit besseres Aussehen als diejenigen,

[63]) Th. Pfeiffer: Der Vegetationsversuch. P. Parey. Berlin 1918.

die keine Phosphorsäuregabe erhalten hatten. Ein ähnlicher, wenn auch nicht so deutlicher Unterschied stellte sich bei Serie 55—60 ein.

Am 13. Mai wurde die zweite Gabe Ammoniumnitrat gegeben, und zwar geschah dies von unten durch die Durchlüftungsröhren. Der Unterschied im Aussehen der verschieden behandelten Pflanzen der Serie 85—90 verstärkte sich wesentlich. Außer der Serie 55—60 machte sich bei Serie 37—42 ein solcher dergestalt geltend, daß auch hier die mit Volldüngung versehenen Töpfe besseren Pflanzenwuchs zeigten. Die Rispenbildung erfolgte bei allen Pflanzen außer auf den Töpfen 7--12, 58—60 und 67—72 am 19. Juni, am 21. Juni trat sie auch auf 58—60 und am 25. Juni auf 7—12 und 67—72 ein. Am 19. Juni standen in der Serie 43—48 die ohne Phosphorsäuregabe versehenen Pflanzen denen mit Volldüngung nach, und am 4. Juli machten sich auf den Töpfen 7—12, 13—18, 67—72 und 79—84 einige Blattläuse bemerkbar; jedoch ein störender Einfluß auf das Gedeihen der Pflanzen trat durch diese bis zum Tage der Ernte nicht ein.

Am 11. Juni wurde der Hafer im Zustand der Milchreife geerntet. Die Halme wurden so nahe wie nur möglich am Boden abgeschnitten. Um aber auch die Wurzeln leicht herausspülen zu können, wurden die Böden stark befeuchtet.

Außer der Feststellung der oberirdischen Trockensubstanz sowie derjenigen an Wurzelmasse wurde auch ihr Gehalt an Gesamtphosphorsäure bestimmt.

Die Trockensubstanzernte gibt Tabelle V, den Phosphorsäuregehalt Tabelle VI des Anhangs wieder. Dabei ist zu bemerken, daß der Phosphorsäuregehalt in der Mischprobe der 3 Parallelgefäße bestimmt wurde. Außerdem zeigt Tabelle E die Mehr- (+) oder Minder- (—) Erträge auf den einzelnen Böden durch die P_2O_5-Düngung.

Tabelle E.

Boden-Serie	Gefäß von	Düngung	Oberirdische Ernte in g	Mehr- (+) oder Minder- (—) Ertrag durch P_2O_5-Düngung	Wurzeln in g	Mehr- (+) oder Minder- (—) Ertrag durch P_2O_5-Düngung	Oberirdische Ernte + Wurzeln in g	Mehr- (+) oder Minder- (—) Ertrag durch P_2O_5-Düngung
A	25—27	KPN	174,21±1,35	2,88±2,71	16,83±0,21	— 1,25±0,39	191,04±1,56	1,63±2,4
	28—30	KN	171,33±2,35		18,08±0,51		189,41±1,94	
B	43—45	KPN	190,68±1,53	24,49±1,79	17,05±0,86	— 0,07±1,39	207,74±0,67	24,42±1,4
	46—48	KN	166,19±0,83		17,12±1,10		183,32±1,26	
C	37—39	KPN	182,46±0,81	30,21±0,89	15,47±1,21	2,94±1,32	197,94±2,22	33,16±2,3
	40—42	KN	152,25±0,37		12,53±0,55		164,78±0,75	
D	31—33	KPN	173,06±0,93	3,80±1,40	14,02±1,03	2,89±1,12	187,08±1,20	6,70±1,5
	34—36	KN	169,26±1,05		11,13±0,46		180,38±1,02	
E	1—3	KPN	155,62±2,83	— 0,01±4,03	15,86±0,71	— 1,21±1,09	171,48±3,54	— 1,22±5,2
	4—6	KN	155,63±3,05		17,07±0,83		172,70±3,76	
F	49—51	KPN	192,65±3,25	4,38±3,30	13,22±0,33	— 3,08±1,53	205,88±3,11	1,31±3,59
	52—54	KN	188,27±0,58		16,30±1,50		204,57±1,68	
H	55—57	KPN	199,85±1,58	60,42±4,16	17,10±0,82	5,28±1,12	216,95±2,31	65,7±4,14
	58—60	KN	139,43±3,85		11,82±0,77		151,25±3,44	
K	61—63	KPN	193,52±0,77	1,17±1,58	11,57±0,39	0,35±0,78	205,09±0,90	1,51±1,15
	64—66	KN	192,35±1,39		11,22±0,68		203,58±0,72	
L	19—21	KPN	184,32±1,47	— 1,85±1,60	14,15±0,31	— 4,83±1,43	198,47±1,16	— 6,68±3,39
	22—24	KN	186,17±0,65		18,98±1,99		205,15±3,19	
M	13—15	KPN	185,65±3,24	4,10±3,31	20,85±0,74	2,89±0,99	207,17±2,63	6,76±2,72
	16—18	KN	181,55±0,72		17,96±0,67		199,41±1,22	
N	85—87	KPN	239,83±2,11[64])	68,98±2,17[64])	21,39±1,57[64])	8,79±1,62[64])	261,27±3,06[64])	77,78±1,37[64])
	88—90	KN	170,90±0,53		12,20±0,41		183,49±0,86	
O	7—9	KPN	190,32±3,53	— 6,26±3,67	11,72±0,39	— 2,09±0,67	202,05±2,31	— 8,34±2,6
	10—12	KN	196,58±1,01		13,81±0,55		210,39±1,21	
P	67—69	KPN	198,92±3,90	0,50±4,57	16,11±1,16	0,68±1,45	215,03±2,29	1,19±3,3
	70—72	KN	198,42±2,39		15,43±0,87		213,84±2,43	
Q	73—75	KPN	188,25±0,88	22,95±1,14	15,83±0,64	3,71±0,95	204,07±0,71	26,65±2,6
	76—78	KN	165,30±0,73		12,12±0,71		177,42±1,42	
R	79—81	KPN	161,60±2,66	7,27±3,17	19,18±0,67	3,74±1,84	180,79±1,95	11,02±1,9
	82—84	KN	154,33±1,73		15,44±0,89		169,77±1,95	

[64]) Bei Boden N wurde nicht der gefundene Ernteertrag, sondern der auf 17 kg des lufttrockenen Bodens umgerechnete Wert eingesetzt. Dieses hat insofern seine Berechtigung, als der Boden N nur zu je 10 kg angewandt worden war und dementsprechend auch seine Phosphorsäuregabe erhalten hatte.

Aus der Erntetabelle ist zu entnehmen, daß nur bei den Böden B, C, H, N, Q wesentliche Mehrerträge an oberirdischer Substanz durch die P_2O_5-Düngung erzielt worden sind. Die den Ernten anhaftenden wahrscheinlichen Schwankungen lassen diese Mehrerträge gesichert erscheinen, während für die Böden A, D, E, F, K, L, M, O, P, R die Mehr- oder Mindererträge durch die Höhe der wahrscheinlichen Schwankung als völlig in Frage gestellt anzusehen sind, so daß wir in diesen Fällen auf kein Düngerbedürfnis für P_2O_5 zu schließen haben.

Die Ernteerträge der Wurzeln bezw. deren Mehr- oder Mindererträge leiden sämtlich unter der Höhe der wahrscheinlichen Schwankungen, mit Ausnahme der Böden H, Q, N und M, die geringe Mehrerträge aufzuweisen haben, z. T. sind dieselben aber auch nur gerade als sichergestellt anzusehen.

Die Gesamternte zeigt in ihren Mehr- oder Mindererträgen im wesentlichen dasselbe Bild, wie die der oberirdischen Pflanzensubstanz. Wenn aber hiervon abweichend die Böden D und R etwas höhere Mehrerträge ergeben haben, so ist diesem Umstande kein größeres Gewicht beizulegen, da die Wurzelernte, welche dieses hervorgebracht hat, in ihrer Sicherheit durch die Höhe der wahrscheinlichen Schwankungen sehr beeinträchtigt erscheint.

Es drängt sich nun aber die Frage auf: Stehen die ermittelten Mehrerträge in einer direkten Beziehung zu den P_2O_5-Mengen des Bodens, die durch eine der angewandten Methoden in Lösung gebracht worden sind? Die nachfolgende Tabelle soll uns in bezug auf die Gesamtphosphorsäure und auf die in 10%-iger Salzsäure lösliche Phosphorsäure hierüber zunächst Aufschluß geben.

Tabelle F.

Boden-Serie	Gesamt-Gehalt an P_2O_5 %	Erzielter Mehrertrag durch P_2O_5-Düngung in g	Boden-Serie	In 10%-iger HCl lösliche P_2O_5 %	Erzielter Mehrertrag durch P_2O_5-Düngung in g	Boden-Serie	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 löslich in 10%-iger HCl	Erzielter Mehrertrag durch P_2O_5-Düngung in g
P	1,096	—	P	0,981	—	M	94,6	—
F	0,364	—	F	0,316	—	P	89,5	—
O	0,278	—	R	0,243	—	A	89,4	—
R	0,275	—	D	0,216	—	Q	88,7	22,95
L	0,253	—	L	0,215	—	R	88,4	—
N	0,253	68,99	O	0,213	—	D	87,8	—
D	0,246	—	N	0,203	68,99	F	86,8	—
K	0,223	—	K	0,186	—	C	86,3	30,21
H	0,215	60,42	Q	0,181	22,95	L	85,0	—
E	0,214	—	M	0,174	—	B	84,8	24,4
Q	0,204	22,95	H	0,163	60,42	H	83,4	—
M	0,184	—	A	0,161	—	N	80,2	68,99
C	0,182	30,21	E	0,159	—	O	76,6	—
A	0,180	—	C	0,157	30,21	H	75,8	60,42
B	0,178	24,49	B	0,151	24,49	E	74,3	—

Bei Betrachtung dieser Uebersicht zeigt sich ohne weiteres, daß eine Abhängigkeit der Mehrerträge vom absoluten Gehalt der Böden an P_2O_5 nicht besteht, und auch dasselbe ist bezüglich der in Salzsäure löslichen P_2O_5-Mengen, die nur wenig vom absoluten P_2O_5-Gehalt abweichen, zu verzeichnen. Ja, selbst wenn man die relative Salzsäurelöslichkeit der Boden-Phosphorsäure zu Rate zieht, wie dies die dritte Gegenüberstellung unserer obigen Tabelle zum Ausdruck bringt, so versagt auch dieses Verfahren, und zwar tritt für alle drei Fälle die Unzweckmäßigkeit der Methode so deutlich in Erscheinung, daß man kaum nötig hat, durch besondere Hinweise diesen Tatbestand zu erläutern oder zu bekräftigen.

Nachdem also der Versuch, die Düngerbedürftigkeit aus dem Verhältnis der Gesamt-P_2O_5 zu der in 10%-iger Salzsäure löslichen P_2O_5 festzustellen, als gescheitert gelten mußte, blieb mir noch zu ermitteln übrig, ob nicht die in anderen Lösungsmitteln lösliche P_2O_5, in Vergleich zu der Gesamt-P_2O_5 und der in 10%-iger Salzsäure löslichen P_2O_5 gesetzt, einen Ausdruck wiederzugeben in der Lage sei, was umsomehr zu erwarten stand, als Lemmermann diesen Weg erfolgversprechend gekennzeichnet hat. Zu diesem Zweck sei zunächst auf Tabelle G verwiesen, welche die Beziehungen zwischen der in 1%-iger Zitronensäure löslichen zu der Gesamtphosphorsäure und auch zu der in 10%-iger Salzsäure gelösten Phosphorsäure wiedergibt. Hier tritt uns schon ein wesentlich andersartiges Bild entgegen. Es muß zum Verständnis der Tabelle bemerkt werden, daß die Böden nach ihrer relativen P_2O_5-Löslichkeit in 1%-iger Zitronensäure zur Gesamtphosphorsäure geordnet sind.

Schon der Prozentgehalt an in 1%-iger zitronensäure-löslicher P_2O_5 zeigt ganz deutlich eine Beziehung zu dem Ernteertrag. Die Böden, die unter $0{,}067\%$ aufzuweisen haben, liefern dementsprechend einen mehr oder weniger geringen Mehrertrag an Pflanzensubstanz, während alle übrigen Böden mit höherem Gehalt an zitronensäure-löslicher P_2O_5 keine P_2O_5-Bedürftigkeit erkennen lassen. Allerdings besteht auch hier kein Verhältnis zwischen den einzelnen durch Mehrerträge ausgestatteten Böden und der gelösten Phosphorsäure, wie dieses auch Lemmermann in seinen Versuchen festgestellt hat, aber trotzdem glaube ich, daß durch den Löslichkeitsgrad der Bodenphosphorsäure in 1%-iger Zitronensäurelösung ein gewisser Anhaltspunkt für die Beurteilung der Düngerbedürftigkeit gegeben ist.

Dieses findet eine weitere Bestätigung durch den Vergleich der relativen Löslichkeitsverhältnisse (Gesamt-: 1%-ig. Zitronens. lösl. P_2O_5 und HCl-lösl.: 1%-ig. Zitronens. lösl. P_2O_5) zu den Resultaten des Vegetationsversuches.

Für diejenigen Böden, die eine Phosphorsäure-Reaktion zeigen, läßt sich erkennen, daß mit Ausnahme des Bodens H bezw. C die Zunahme des Mehrertrages in einem umgekehrten Verhältnis zu der relativen Löslichkeit der Bodenphosphorsäure steht, und

Tabelle G.

Boden-Serie	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 sind in 1 %-iger Zitronensäure löslich	Von 100 Teilen in 10 %-iger HCl löslicher P_2O_5 sind in 1 %-iger Zitronensäure löslich	% P_2O_5 löslich in 1 %-iger Zitronensäure-Lösung	Mehr- (+) oder Minder- (—) Ertrag in g	% P_2O_5 aufgenommen durch die Hafer-Pflanzen	Gesamt-P_2O_5 aufgenommen durch die Hafer-Pflanzen in g
P	57,9	64,7	0,635	0,5	1,648	3,270
O	46,4	60,7	0,129	— 6,26	1,382	2,717
L	43,5	5 ,2	0,110	— 1,85	0,645	1,222
M	41,3	43,7	0,076	4,10	0,620	1,126
F	40,6	46,5	0,14 /	4,38	0,573	1,078
K	39,9	47,9	0,089	1,17	0,570	1,096
R	37,8	42,8	0,104	7,27	0,570	0,880
A	37,2	41,6	0,067	2,88	0,532	0,911
D	36,2	41,2	0,089	3,80	0,547	0,926
E	33,6	45,3	0,072	— 0,01	0,654	1,018
Q	21,6	24,2	0,044	22,95	0,518	0,856
B	17,4	20,5	0,031	24,49	0,469	0,779
H	14,9	19 6	0,026	60,42	0,462	0,644
C	14,3	16,6	0,0 2	30,21	0,453	0,690
N	12,7	15,8	0,032	68,99	0,460	0,463

zwar trifft dieses für beide Fälle der errechneten relativen Löslichkeit zu.

Nach diesen Befunden zu urteilen, erweist sich auch das Verhältnis von salzsäure-löslicher Phosphorsäure zu 1 %-iger zitronensäure-löslicher P_2O_5 als geeignet, einen gewissen Einblick in die Verhältnisse der Düngerbedürftigkeit eines Bodens für P_2O_5 zu gewähren.

Für die auf Phosphorsäure reagierenden Böden sind aber noch folgende Beziehungen aus der Tabelle zu entnehmen, nämlich erstens, daß der prozentische Phosphorsäure-Gehalt der Ernte und zweitens die Gesamternte an Phosphorsäure mit der relativen Löslichkeit — mit Ausnahme des Bodens H bezw. C — annähernd proportional wächst und fällt.

Bei den anderen Böden, also denjenigen, die keinen Phosphorsäure-Mangel zeigen, sind gleichfalls Beziehungen genannter Art erkennbar, aber hier fallen einige Böden, besonders E, sehr deutlich aus dem allgemeinen Rahmen heraus. Immerhin ist aber eine Anlehnung der Gesamt-Phosphorsäure-Ernte an die Werte für die relative Löslichkeit nicht zu verkennen.

Auf derartige Verhältnisse weist auch Lemmermann[65]) bei seiner Umrechnung der Schneidewind'schen Versuchsergebnisse über die relative Löslichkeit hin, indem er ausführt: „Böden, deren Phosphorsäure einen zwischen 10—20 % liegenden Löslichkeitsgrad aufweisen, werden in der Regel anders zu beurteilen sein, als solche, deren Phosphorsäure zu 40—50 % löslich ist."

[65]) Landw. Vers.-Stationen Bd. 98, S. 166.

Aus meinen Untersuchungen läßt sich schließen, daß die Grenze für die Düngebedürftigkeit eines Bodens an Phosphorsäure auf Grund der Bestimmung der relativen Löslichkeit nach Lemmermann zwischen den Werten 22 und 34 zu suchen ist, so daß Böden, welche einen höheren als diesen Grenzwert zeigen, zu den nicht an Phosphorsäure bedürftigen Böden zu zählen sind.

Ferner kann auch die relative Löslichkeit der in 10%-iger Salzsäure löslichen zu der in 1%-iger Zitronensäurelösung gelösten Phosphorsäure zur Erkennung der Düngerbedürftigkeit in gleicher Weise Benutzung finden, nur liegt hier der Grenzwert etwas anders, nämlich zwischen 24 und 41.

Wie schon eingangs erwähnt wurde, habe ich meine Untersuchungen auch auf die ½%-ige Zitronensäurelösung ausgedehnt.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle in gleicher Weise wie vorher niedergelegt.

Tabelle H.

Boden-Serie	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 sind in ½%-iger Zitronensäure löslich	% P_2O_5 löslich in ½%-iger Zitronensäure	Von 100 Teilen in 10%-iger HCl löslicher P_2O_5 sind in 1%-iger Zitronensäure löslich	Mehr-(+) oder Minder-(—) Ertrag in g	% P_2O_5 aufgenommen durch die Haferpflanzen	Gesamt-P_2O_5 aufgenommen durch die Haferpflanzen in g
P	37,5	0,411	41,9	0,50	1,648	3,270
O	24,1	0,067	31,5	— 6,26	1,382	2,717
M	22,8	0,042	24,10	4,10	0,620	1,126
F	21,9	0,079	25,0	4,38	0,573	1,078
L	21,7	0,055	25,6	— 1,85	0,645	1,222
K	21,1	0,047	25,3	1,17	0,570	1,096
R	20,4	0,056	23,0	7,27	0,570	0,880
A	19,5	0,035	21,7	2,88	0,532	0,911
D	18,3	0,045	20,8	3,80	0,547	0,926
E	16,3	0,035	22,0	— 0,01	0,654	1,018
Q	12,8	0,026	14,4	22,95	0,518	0,856
B	10,7	0,019	12,6	24,49	0,469	0,779
C	8,7	0,016	10,2	30,21	0,453	0,690
H	7,0	0,015	9,2	60,42	0,462	0,644
N	4,8	0,012	5,9	68,99	0,460	0,463

Auch hier sind die Böden wieder nach der abnehmenden relativen Löslichkeit von Gesamt-Phosphorsäure zu in ½%-iger zitronensäurelöslicher Phosphorsäure geordnet.

Auch in dieser Zusammensetzung prägt sich wieder ganz deutlich der Unterschied zwischen phosphorsäurebedürftigen und nicht bedürftigen Böden durch die Zahlen der gefundenen relativen Löslichkeit aus. Aber nicht genug damit, denn bei näherer Betrachtung zeigt sich sogar, daß unter Benutzung der ½%-igen Säure noch eine weit bessere Anpassung erreicht worden ist als im Fall der Anwendung der 1%igen Säure. Besonders macht sich dies für die phosphorsäurebedürftigen Böden geltend, denn bei

ihnen besteht ohne Ausnahme umgekehrte Proportionalität zwischen relativer Löslichkeit, Ernteertrag und Phosphorsäure-Aufnahme durch die Pflanzen, was bisher durch keine der anderen Methoden zum Ausdruck gebracht werden konnte.

Ganz besonders erweisen sich aber die Zahlen der relativen Löslichkeit, die durch den Salzsäure- und $^1/_2$ %-igen Zitronensäure-Auszug erhalten wurden, für diesen Nachweis geeignet, denn auch ihre Befunde bringen für die nicht phosphorsäurebedürftigen Böden diese Beziehungen recht deutlich zum Ausdruck, wenn auch nicht mit der gleichen Schärfe. Dieses ist aber an und für sich auch gar nicht zu erwarten, sogar eigentlich überhaupt unmöglich, weil die Böden, auf denen die Phosphorsäure-Düngung nicht mehr wirkt, keine Unterschiede in besagter Hinsicht zeigen werden. Auch können die Phosphorsäure-Mengen in den Ernten für einen solchen Zweck keine Verwendung mehr finden, da hier notgedrungen Luxuskonsumption auftreten wird.

Die durch diese Zahlen gefundene Grenze der Düngerbedürftigkeit liegt zwischen 21 und 14, sie hat also eine bedeutende Verringerung im Umfange ihres Intervalles erlitten, was aber nichts anderes besagt, als daß sie an Schärfe zugenommen hat. Mit ihrer Hilfe sind also noch kleinere Unterschiede in der Düngebedürftigkeit zu fassen, als uns dies bisher durch die vorhergehenden Methoden gelungen war festzustellen.

Als letzte chemische Methode zur Bestimmung der Düngebedürftigkeit wurde noch die Methode von O. M. Shedd[66]) zum

Tabelle I.

Boden-Serie	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 sind in 0,2 n HNO_3-Lösung löslich	Von 100 Teilen in 10 %-iger HCl löslicher P_2O_5 sind in 0,2 n HNO_3-Lösung löslich	% P_2O_5 löslich in 0,2 n HNO_3-Lösung	Mehr- (+) oder Minder- (—) Ertrag in g	% P_2O_5 aufgenommen durch die Haferpflanzen	Gesamt-P_2O_5 aufgenommen durch die Haferpflanzen in g
P	32,2	36,0	0,351	0,50	1,648	3,270
M	23,9	25,3	0,044	4,10	0,620	1,126
O	23,7	30,9	0,066	— 6,26	1,382	2,717
L	22,9	27,0	0,058	— 1,85	0,645	1,222
F	20,3	23,4	0,074	4,38	0,573	1,078
K	19,3	23,1	0,043	1,17	0,570	1,096
R	18,2	20,6	0,050	7,27	0,570	0,880
D	17,9	20,4	0,044	3,80	0,547	0,926
A	17,8	19,9	0,032	2,88	0,532	0,911
E	16,4	22,0	0,035	— 0,01	0,654	1,018
Q	13,7	15,5	0,028	22,95	0,518	0,856
B	11,2	13,2	0,020	24,49	0,469	0,779
C	9,3	10,8	0,017	30,21	0,453	0,690
H	8,4	11,1	0,018	60,42	0,462	0,644
N	7,5	9,4	0,019	68,99	0,460	0,463

[66]) L. C. 17.

Vergleich herangezogen. Nach Shedd ist die in 0,2 n Salpetersäure lösliche Phosphorsäure geeignet, das Bedürfnis eines Bodens für diesen Pflanzennährstoff anzuzeigen. Die Ergebnisse der Untersuchungen nach Shedd's Methode werden aus vorhergehender Tabelle ersichtlich.

Es ist zwar nicht zu verkennen, daß auch die 0,2 n-Salpetersäure Hinweise auf die Bedürftigkeit eines Bodens für Phosphorsäure gibt, aber die Unterschiede zwischen den keinen Mangel an Phosphorsäure besitzenden und den Phosphorsäure benötigenden Böden treten in der Prozentgehaltszahl für Phosphorsäure so wenig in Erscheinung, daß die Festlegung einer Grenze bei 0,004 Differenz durch sie als willkürliche Maßnahme erscheinen muß. Ein anderes Bild ergibt sich allerdings beim Vergleich der relativen Löslichkeit der Gesamt-Phosphorsäure und der in Salzsäure löslichen Phosphorsäure des Bodens zu der in 0,2 n Salpetersäure löslichen mit der Mehrernte, wie auch mit der Phosphorsäure-Aufnahme durch die Pflanzen. Dieses Ergebnis stimmt mit dem bei der $^1/_2$ %-igen Zitronensäure erhaltenen wohl insofern überein, als auch hier eine Relation genannter Werte zu erkennen ist. Aber ein Vergleich der durch $^1/_2$ %-ige Zitronensäure gefundenen Werte mit letzteren läßt doch die Zitronensäure-Methode als den Verhältnissen viel besser entsprechend erscheinen, insofern nämlich, als die einzelnen Werte viel deutlicher die Abhängigkeit der Mindererträge von dem relativen Löslichkeitsgrade dartun:

Tabelle K.

Boden	Minder-ertrag	Relative Löslichkeiten			
		$^1/_2$ %-ige Zitronensäure		$^1/_5$ n-HNO_3	
		Zu Gesamt	Zu 10 %-iger HCl	Zu Gesamt	Zu 10 %-iger HCl
Q	22,95	12,8	14,4	13,7	15,5
B	24,49	10,7	12,6	11,2	13,2
C	30,21	8,7	10,2	9,3	10,8
H	60,42	7,0	9,2	8,4	11,1
N	68,99	4,8	5,9	7,5	9,4

Von allen benutzten chemischen Methoden zeigen die verdünnten Säurelösungen und besonders ihre relativen Löslichkeiten ein recht verschiedenes Bild.

Die 10%-ige Salzsäure vermochte unter Heranziehung der P_2O_5-Werte allein keine Anhaltspunkte zur Beurteilung der aufgeworfenen Frage zu bieten, während die drei anderen Methoden insofern einen gewissen Aufschluß erbrachten, als durch sie phosphorsäurebedürftige Böden von solchen, die keinen Mangel an Phosphorsäure zeigen, unterschieden werden konnten.

Von diesen dreien ist aber die bisher nicht zur Lösung der Frage benutzte $^1/_2$ %-ige Zitronensäurelösung als diejenige zu bezeichnen, die uns in jedweder Beziehung die besten Aufschlüsse gibt. —

Wie aber schon in der Einleitung erwähnt wurde, sollten für die Untersuchung nach der Bedürftigkeit der Böden an Phosphorsäure nicht nur die verschiedensten chemischen Methoden herangezogen werden, sondern es sollte auch die neue Methode der Pflanzenanalyse von Neubauer[67]) mit den Ergebnissen jener wie auch mit den Vegetationsversuchs-Resultaten verglichen werden.

Zu diesem Zwecke wurden zwar nicht alle Böden nach besagter Methode untersucht, sondern nur solche herausgegriffen, die durch den Ausfall des Vegetationsversuches einen Phosphorsäure-Mangel erkennen ließen und drei, die keine Bedürftigkeit für Phosphorsäure zeigten. Von diesen letzten war die Wahl aus dem Grunde getroffen worden, weil der eine derselben beim Vegetationsversuch durch eine geringe Mehr-, der andere durch eine geringe Minderernte, die allerdings innerhalb der zulässigen wahrscheinlichen Schwankung lag, gekennzeichnet war, während der dritte Boden, mit oder ohne Phosphorsäure gedüngt, das gleiche Ernteergebnis geliefert hatte. Mit andern Worten, es sollten durch diese Auswahl diejenigen Böden getroffen werden, die durch den Vegetationsversuch als merklich abweichend innerhalb der Nichtdüngebedürftigkeit erkannt worden waren.

Dementsprechend waren es die Böden B, H, N, E, R, O, die nach Neubauer untersucht wurden. Jeder Versuch gelangte nach

Tabelle L.

Boden	Gefäß von	P_2O_5 in mg aufgenommen durch die Roggenpflanzen	Mittel	Mehraufnahme an P_2O_5 in mg gegenüber dem Blindversuch	Keimfähigkeit des Roggens in %	Mehrertrag durch P_2O_5 der Vegetationsversuche an Trockensubstanz in g
Sand (Blindversuch)	S_1	33,9	32,7	—	99	—
	S_2	31,5			100	
B	B_1	35,9	36,1	3,4	98	24,49
	B_2	36,3			98	
H	H_1	37,8	36,7	4,0	97	60,42
	H_2	35,6			98	
N	N_1	37,8	38,5	5,8	97	68,99
	N_2	39,1			99	
E	E_1	38,7	38,6	5,9	98	— 0,01
	E_2	38,5			98	
R	R_1	46,1	44,1	11,4	99	7,27
	R_2	42,0			97	
O	O_1	63,4	58,6	25,9	99	— 6,26
	O_2	53,8			98	

[67]) Neubauer u. Schneider: Ztschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung. Teil A, Bd. 2, S. 329.

genauer Innehaltung von Neubauers Vorschriften zur Durchführung.

Als Versuchspflanze diente Göttinger Roggen, der am 16. 10. in einer Anzahl von 100 Körnern pro Gefäß ausgesät und am 5. 11. geerntet wurde.

Die vorhergehende Tabelle übermittelt die Ergebnisse des Neubauer-Versuches.

Nach Neubauer gilt ein Boden für genügend mit Phosphorsäure ausgestattet, wenn in den auf ihm gewachsenen Roggenpflänzchen über 8 mg Phosphorsäure mehr als in den Kontrollpflanzen nachzuweisen sind.

Bei den Böden, die sich durch den Ausfall der Vegetationsversuche als stark phosphorsäurebedürftig erwiesen haben, liegen die durch den Neubauer'schen Versuch erhaltenen Mehrerträge an Phosphorsäure zwar unter 8 mg pro Gefäß, aber auch der Boden E, der nach dem Vegetationsversuch nicht zu den Phosphorsäure bedürftigen Böden zu zählen ist, weist den Wert 5,9 auf und müßte daher nach Neubauer als für Phosphorsäure düngebedürftig bezeichnet werden. Andererseits stehen aber auch die Mehrerträge an Phosphorsäure nach Neubauer in gar keinem Verhältnis zu den Mehrernten an Trockensubstanz durch den Vegetationsversuch, sie verhalten sich sogar bei den nach Neubauer für Phosphorsäure bedürftigen Böden umgekehrt in dieser Beziehung, denn dort, wo Neubauer's Methode die geringste Bedürftigkeit erwarten läßt, ist sie durch den Ausfall des Vegetationsversuchs am höchsten dargetan und umgekehrt.

Die Neubauer'sche Methode hat also in unserem Falle nicht eine scharfe Scheidung der an Phosphorsäure bedürftigen von den nicht daran bedürftigen Böden herbeizuführen vermocht, wohl aber ist dies auf Grund der Methode der relativen Löslichkeitsbestimmungen einwandfrei geglückt.

Boden	Mehraufnahme von P_2O_5 nach Neubauers Methode	Relative Löslichkeit HCl: $^1/_2$%-iger Zitronensäure	Mehrertrag durch P_2O_5-Gabe im Vegetationsversuch
B	3,4	12,6	24,5
H	4,0	9,2	60,4
N	5,8	5,9	69,0
E	5,9	22,0	—
R	11,4	23,0	—
O	25,9	31,5	—

Zieht man nun in Erwägung, daß die durch den Vegetationsversuch erhaltenen Werte durch die erwähnten chemischen Methoden eine Bestätigung erfahren haben, so erscheint die Neubauer'sche Methode in allen Fällen doch wohl nicht so empfehlenswert wie die Bestimmung der Bodenphosphorsäure mit

1 %-, ½ %-iger Zitronensäure und 0,2 n Salpetersäure unter Heranziehung des Wertes für die relative Löslichkeit der Phosphorsäure.

Wie schon erwähnt wurde, sind auch die Wurzeln, die auch auf ihren Phosphorgehalt untersucht wurden, geerntet, um zu erfahren, ob durch die Gesamternte von oberirdischer Substanz und Wurzeln oder durch die Wurzelernte allein die Frage der Düngebedürftigkeit eines Bodens noch weitere Klärung erfahren könnte.

Bei der Zusammenstellung der diesbezüglichen Befunde ergibt sich aber, daß weder die Gesamternte noch der Gesamtgehalt an Phosphorsäure und auch nicht die Differenzen zwischen gedüngten und ungedüngten Serien eine wesentliche Aenderung erfahren haben. Aus diesem Grunde und weil die Ernte und Analyse der Wurzeln allein keinen Aufschluß in der erwähnten Frage gaben, sind die Resultate, die aus der Tabelle V und VI ersichtlich sind, nicht zum Vergleich herangezogen worden.

Dieses Ergebnis stimmt nicht mit dem von R. Heinrich[68]) gefundenen überein, der lediglich aus der Bestimmung der in den Wurzeln befindlichen Nährstoffe auf die Bedürftigkeit eines Bodens schließen wollte.

Auf Grund vorliegender Versuchsergebnisse lassen sich in bezug auf die Feststellung der Düngebedürftigkeit der Böden für Phosphorsäure folgende Sätze aufstellen:

1. Der Gesamtphosphorsäuregehalt eines Bodens und die in 10 %iger Salzsäure lösliche Phosphorsäure gibt allein keinen Anhaltspunkt, um die Phosphorsäurebedürftigkeit des Bodens zu erkennen, wohl aber ist unter Hinzuziehung der durch die 10 %-ige HCl in Lösung gegangenen Mengen von Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO und auch der organischen Substanz (Glühverlust) und derjenigen an Phosphorsäure eine Möglichkeit der Erkennung der Bedürftigkeit eines Bodens an Phosphorsäure gegeben.

2. Die relative Löslichkeit der Gesamt-Phosphorsäure zu der in 10 %-iger HCl löslichen Phosphorsäure lieferte ebenfalls kein brauchbares Ergebnis.

3. Der Prozentgehalt der in 1 %-iger Zitronensäure gelösten Bodenphosphorsäure gibt einen Aufschluß über den Bedarf eines Bodens an Phosphorsäure. Derselbe kommt aber noch besser durch die Beziehung der relativen Löslichkeit der Gesamt-Phosphorsäure zu der in 1 %-iger Zitronensäure-Lösung löslichen Phosphorsäure zum Ausdruck.

4. Auch die ⅕ n HNO_3 zeigte dieselben Ergebnisse, nur mit dem Unterschied, daß die relative Löslichkeit der Phosphorsäure noch zufriedenstellendere Resultate ergab, denn diese relative Löslichkeit steht ohne Ausnahme im umgekehrten Verhältnis zur Pflanzenernte.

5. Die zu den Untersuchungen herangezogene ½ %-ige Zitronensäure erwies sich als das beste Lösungsmittel für Phosphorsäure,

[68]) L. C. S. 9.

um die Düngerbedürftigkeit des Bodens an diesem Nährstoff zu erkennen. Die $^1/_2$ %-ige Zitronensäure zeigte nicht allein schon durch die Menge an gelöster Bodenphosphorsäure die Bedürftigkeit an, sondern auch die aufgestellten Beziehungen der relativen Löslichkeit von einerseits der Gesamt-Phosphorsäure, andererseits von in 10%-iger HCl gelösten Phosphorsäure ließen ohne Ausnahme erkennen, daß die Böden eine bessere Reaktion auf Phosphorsäuredüngung zeigten, je geringer die Werte der relativen Löslichkeit waren.

6. Die Ergebnisse der nach Neubauer und Schneider ausgeführten Versuche zur Erkennung der Düngerbedürftigkeit eines Bodens konnten insofern nicht vollauf bestätigt werden, als die geforderte Mindestaufnahme von 8 mg Phosphorsäure nicht mit den erhaltenen Werten übereinstimmte, denn auch ein Boden, der keinen Phosphorsäuremangel hatte, zeitigte den Wert 5,9 mg Phosphorsäure. Außerdem bringt die Methode nicht klar zum Ausdruck, in welchem Maße der Boden an Phosphorsäure bedürftig ist, während ein Teil der chemischen Methoden dieser Forderung gerecht wurde.

7. Die Frage, ob der Gesamtgehalt der Pflanzenwurzeln an Phosphorsäure die Düngerbedürftigkeit anzuzeigen vermag, muß auf Grund der Wurzelanalysen verneinend beantwortet werden.

Tabelle I.

Boden	Hygroskopizität	Mittel	Wasserkapazität	Mittel	Ton-Gehalt nach Atterberg	Mittel	
A	2,084 2,137 2,109	2,11 ± 0,01	24,72 24,61 24,68	24,67 ± 0,02	5,81 5,75	5,78	Sand-Lehm-boden
B	5,007 5,218 5,072	5,10 ± 0,05	34,42 34,21 34,39	34,34 ± 0,05	11,07 10,96	11,01	Lehm
C	3,213 3,138 3,098	3,15 ± 0,03	28,61 28,52 28,63	28,59 ± 0,03	8,25 8,32	8,29	Milder Lehm
D	6,040 6,281 6,113	6,15 ± 0,05	30,05 30,27 30,30	30,21 ± 0,06	12,80 12,98	12,89	Lehm
E	4,122 4,310 4,204	4,21 ± 0,04	29,80 29,62 29,59	29,67 ± 0,05	9,67 9,51	9,59	Lehm
F	5,949 5,404 5,820	5,72 ± 0,13	32,83 32,62 32,99	32,81 ± 0,08	12,14 12,34	12,24	Humos. Lehm
H	3,268 3,402 3,386	3,35 ± 0,03	28,61 28,42 28,71	28,58 ± 0,06	8,14 8,22	8,18	Milder Lehm
K	4,080 4,001 4,115	4,07 ± 0,03	30,52 30,56 30,78	30,62 ± 0,06	9,75 10,09	9,92	Lehm
L	4,591 4,602 4,613	4,60 ± 0,004	29,58 29,63 29,46	29,56 ± 0,04	10,68 11,06	10,87	Lehm
M	3,335 3,269 3,302	3,30 ± 0,01	34,52 34,12 34,61	34,42 ± 0,12	6,21 6,05	6,13	Milder Lehm
N	6,371 6,412 6,441	6,40 ± 0,01	31,22 29,98 30,18	30,46 ± 0,3	22,91 22,84	22,88	Ton
O	5,091 5,103 5,062	5,09 ± 0,01	31,18 31,28 31,34	31,27 ± 0,04	9,56 9,00	9,28	Lehm
P	10,980 10,961	10,97 ± 0,01	39,16 39,28 39,19	39,21 ± 0,03	13,14 13,18	13,16	Humos. Lehm
Q	5,698 5,755 5,727	5,73 ± 0,01	30,89 30,94 30,79	30,87 ± 0,04	10,28 10,66	10,47	Lehm
R	5,604 5,435 5,481	5,51 ± 0,04	29,12 29,25 29,19	29,19 ± 0,03	9,86 10,01	9,94	Lehm

Tabelle II.

Boden	SiO_2 %	Mittel %	$Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot P_2O_5$ %	Mittel %	Fe_2O_3 %	Mittel %	CaO %	Mittel %	MgO %	Mittel %	Al_2O_3 %	P_2O_5 %	Mittel %	CO_2 %	Mittel %	Glühverlust %	
A	0,147	0,148	2,185	2,190	1,194	1,203	0,924	0,932	0,147	0,150	0,826	0,160	0,161	0,21	0,215	2,16	2
	0,149		2,194		1,211		0,939		0,152			0,162		0,22		2,12	
B	0,140	0,141	6,200	6,205	3,357	3,594	0,696	0,694	0,109	0,107	2,460	0,149	0,151	0,10	0,095	3,03	3
	0,142		6,209		3,610		0,692		0,104			0,153		0,09		3,12	
C	0,135	0,137	4,110	4,100	1,998	1,998	0,761	0,761	0,117	0,122	1,945	0,153	0,157	0,16	0,150	2,48	2
	0,139		4,089		1,998		0,761		0,127			0,161		0,14		2,55	
D	0,147	0,146	6,790	6,782	3,327	3,319	0,943	0,931	0,230	0,232	3,247	0,214	0,216	0,09	0,100	4,63	4
	0,144		6,774		3,311		0,924		0,233			0,217		0,11		4,56	
E	0,161	0,161	4,307	4,315	2,150	2,154	1,038	1,033	0,156	0,158	2,002	0,162	0,159	0,21	0,225	3,65	3
	0,160		4,323		2,158		1,027		0,159			0,155		0,24		3,61	
F	0,168	0,170	5,547	5,535	2,712	2,708	3,680	3,670	0,256	0,253	2,511	0,312	0,316	1,12	1,115	6,91	6
	0,171		5,522		2,704		3,650		0,250			0,320		1,11		7,02	
H	0,135	0,133	4,524	4,530	2,314	2,312	0,900	0,903	0,176	0,176	2,055	0,163	0,163	0,13	0,135	3,15	3
	0,131		4,537		2,309		0,905		0,175			0,163		0,14		3,09	
K	0,120	0,122	4,828	4,824	2,739	2,755	0,633	0,632	0,195	0,194	1,883	0,181	0,186	0,12	0,105	4,69	4
	0,123		4,820		2,770		0,630		0,193			0,191		0,09		4,68	
L	0,136	0,138	5,719	5,737	2,636	2,652	0,961	0,963	0,202	0,203	2,870	0,212	0,215	0,31	0,300	3,41	3
	0,139		5,754		2,667		0,965		0,203			0,217		0,29		3,49	
M	0,165	0,164	3,357	3,374	2,181	2,161	0,784	0,776	0,124	0,126	1,039	0,173	0,174	0,13	0,125	3,61	3
	0,163		3,390		2,140		0,763		0,128			0,175		0,12		3,72	
N	0,159	0,159	9,649	9,643	6,836	6,854	0,952	0,967	0,193	0,193	2,586	0,199	0,203	0,16	0,150	5,28	5
	0,159		9,636		6,871		0,981		0,192			0,206		0,14		5,08	
O	0,142	0,143	5,042	5,034	2,135	2,149	0,923	0,914	0,183	0,186	2,672	0,208	0,213	0,11	0,125	3,57	3
	0,144		5,025		2,163		0,905		0,189			0,217		0,14		3,62	
P	0,138	0,138	7,554	7,435	4,216	4,218	2,887	2,882	0,201	0,205	2,236	0,973	0,981	1,99	1,985	14,65	14
	0,138		7,316		4,220		2,876		0,209			0,989		1,98		14,62	
Q	0,134	0,137	6,569	6,579	4,521	4,528	0,875	0,864	0,102	0,106	1,870	0,181	0,181	0,35	0,345	4,09	4
	0,139		6,589		4,534		0,852		0,110			0,181		0,34		4,06	
R	0,236	0,235	4,856	4,850	3,100	3,092	1,034	1,033	0,443	0,438	1,515	0,243	0,243	0,26	0,275	3,82	3
	0,234		4,843		3,084		1,032		0,432			0,243		0,29		3,89	

Tabelle III.

Boden	Gesamt-P_2O_5 %	Mittel %	in 1%-iger Zitronensäure lösliche P_2O_5 %	Mittel %	in ½%-igerZitronensäure lösliche P_2O_5 %	Mittel %	in ⅕ normal HNO_3 lösliche P_2O_5 %	Mittel %
A	0,181 0,179	0,180	0,070 0,064	0,067	0,038 0,032	0,035	0,034 0,030	0,032
B	0,178 0,178	0,178	0,031 0,031	0,031	0,017 0,021	0,019	0,022 0,017	0,020
C	0,180 0,184	0,182	0,030 0,022	0,026	0,018 0,014	0,016	0,016 0,018	0,017
D	0,245 0,247	0,246	0,094 0,084	0,089	0,048 0,042	0,045	0,043 0,044	0,044
E	0,211 0,217	0,214	0,072 0,072	0,072	0,034 0,036	0,035	0,033 0,037	0,035
F	0,361 0,367	0,364	0,140 0,154	0,147	0,079 0,079	0,079	0,071 0,076	0,074
H	0,212 0,218	0,215	0,034 0,030	0,032	0,014 0,015	0,015	0,018 0,018	0,018
K	0,222 0,224	0,223	0,086 0,092	0,089	0,048 0,045	0,047	0,040 0,045	0,043
L	0,255 0,250	0,253	0,103 0,117	0,110	0,052 0,058	0,055	0,058 0,058	0,058
M	0,184 0,184	0,184	0,072 0,080	0,076	0,038 0,045	0,042	0,046 0,042	0,044
N	0,248 0,257	0,253	0,029 0,035	0,032	0,015 0,009	0,012	0,016 0,022	0,019
O	0,274 0,282	0,278	0,126 0,132	0,129	0,061 0,073	0,067	0,063 0,068	0,066
P	1,094 1,098	1,096	0,637 0,633	0,635	0,407 0,404	0,411	0,349 0,357	0,353
Q	0,204 0,204	0,204	0,042 0,046	0,044	0,025 0,026	0,026	0,027 0,028	0,028
R	0,271 0,279	0,275	0,107 0,101	0,104	0,059 0,053	0,056	0,051 0,048	0,050

Tabelle IV.

Boden	Gesamt P_2O_5 %	% P_2O_5 löslich in 10% iger HCl	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 sind in 10% igerHCl löslich	% P_2O_5 löslich in 1% iger Zitronensäure-Lösung	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 sind in 1% iger Zitronensäure löslich	Von 100 Teilen in 10% iger HCl löslicher P_2O_5 sind in 1% iger Zitronensäure löslich	% P_2O_5 löslich in $^1/_2$% iger Zitronensäure-Lösung	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 sind in $^1/_2$% iger Zitronensäure löslich	Von 100 Teilen in 10% iger HCl löslicher P_2O_5 sind in $^1/_2$% iger Zitronensäure löslich	% P_2O_5 löslich in $^1/_5$ normaler Salpetersäure-Lösung	Von 100 Teilen Gesamt-P_2O_5 sind in $^1/_5$ n HNO_3 löslich	Von 100 Teilen in 10% iger HCl löslicher P_2O_5 sind in $^1/_5$ n Salpetersäure löslich
A	0,180	0,161	89,4	0,067	37,2	41,6	0,035	19,5	21,7	0,032	17,8	19,9
B	0,178	0,151	84,8	0,031	17,4	20,5	0,019	10,7	12,6	0,020	11,2	13,2
C	0,182	0,157	86,3	0,026	14,3	16,6	0,016	8,7	10,2	0,017	9,3	10,8
D	0,246	0,216	87,8	0,089	36,2	41,2	0,045	18,3	20,8	0,044	17,9	20,4
E	0,214	0,159	74,3	0,072	33,6	45,3	0,035	16,4	22,0	0,035	16,4	22,0
F	0,364	0,316	86,8	0,147	40,6	46,5	0,079	21,9	25,0	0,074	20,3	23,4
H	0,215	0,163	75,8	0,032	14,9	19,6	0,015	7,0	9,2	0,018	8,4	11,1
K	0,223	0,186	83,4	0,089	39,9	47,9	0,047	21,1	25,3	0,043	19,3	23,1
L	0,253	0,215	85,0	0,110	43,5	51,2	0,055	21,7	25,6	0,058	22,9	27,0
M	0,184	0,174	94,6	0,076	41,3	43,7	0,042	22,8	24,1	0,044	23,9	25,3
N	0,253	0,203	80,2	0,032	12,7	15,8	0,012	4,8	5,9	0,019	7,5	9,4
O	0,278	0,213	76,6	0,129	46,4	60,7	0,067	24,1	31,5	0,066	23,7	30,97
P	1,096	0,981	89,5	0,635	57,9	64,7	0,411	37,5	41,9	0,353	32,2	36,0
Q	0,204	0,181	88,7	0,044	21,6	24,2	0,026	12,8	14,4	0,028	13,7	15,5
R	0,275	0,243	88,4	0,104	37,8	42,8	0,056	20,4	23,0	0,050	18,2	20,6

Boden-Serie	Gefäß-Nrn.	Düngung	Ernte an oberirdischer Trockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte (mit wahrsch. Schw.) g	Differenz g	Ernte an Wurzeltrockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte (mit wahrsch. Schw.) g	Differenz g	Gesamternte — Trockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte (mit wahrsch. Schw.) g	Differenz g
A	25	KPN	170,84			16,30			187,14		
	26		177,40	174,21 ± 1,35		16,95	16,83 ± 0,21		194,35	191,04 ± 1,56	
	27		174,40		2,88 ± 2,71	17,23		1,25 ± 0,39	191,63		1,63 ± 2,4
	28	KN	167,20			19,35			186,55		
	29		169,60	171,33 ± 2,35		17,83	18,08 ± 0,51		187,43	189,41 ± 1,94	
	30		177,20			17,05			194,25		
B	43	KPN	194,50			14,90			209,40		
	44		187,64	190,68 ± 1,53		19,03	17,05 ± 0,86		206,67	207,74 ± 0,67	
	45		189,91		24,49 ± 1,79	17,23		— 0,07 ± 1,39	207,14		24,42 ± 1,4
	46	KN	168,28			18,19			186,47		
	47		166,10	166,19 ± 0,83		14,37	17,12 ± 1,10		180,47	183,32 ± 1,26	
	48		164,21			18,80			183,01		
C	37	KPN	181,24			12,45			193,69		
	38		181,65	182,46 ± 0,81		15,47	15,47 ± 1,21		197,12	197,94 ± 2,22	
	39		184,50		30,21 ± 0,89	18,50		2,94 ± 1,32	203,00		33,16 ± 2,3
	40	KN	152,27			11,15			163,42		
	41		151,31	152,25 ± 0,37		12,95	12,53 ± 0,55		164,26	164,78 ± 0,75	
	42		153,16			13,50			166,66		
D	31	KPN	175,38			12,48			187,86		
	32		172,80	173,06 ± 0,93		16,60	14,02 ± 1,03		189,40	187,08 ± 1,20	
	33		171,00		3,80 ± 1,40	12,97		2,89 ± 1,12	183,97		6,70 ± 1,5
	34	KN	169,14			12,28			181,42		
	35		166,73	169,26 ± 1,05		11,10	11,13 ± 0,46		177,83	180,38 ± 1,024	
	36		171,90			10,00			181,90		
E	1	KPN	148,54			14,08			162,62		
	2		156,42	155,62 ± 2,83		16,43	15,86 ± 0,71		172,85	171,48 ± 3,54	
	3		161,90		— 0,01 ± 4,03	17,08		— 1,21 ± 1,09	178,98		— 1,22 ± 5,2
	4	KN	148,00			15,30			163,30		
	5		159,30	155,63 ± 3,05		16,75	17,07 ± 0,83		176,05	172,70 ± 3,76	
	6		159,60			19,15			178,75		

Tabelle V (Fortsetzung).

Boden-Serie	Gefäß-Nrn.	Düngung	Ernte an oberirdischer Trockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte g	Differenz g	Ernte an Wurzeltrockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte g	Differenz g	Gesamt-Ernte — Trockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte g	Differenz g
F	49	KPN	198,04	192,65 ± 3,25	4,38 ± 3,30	12,40	13,22 ± 0,33	— 3,08 ± 1,53	210,44	205,88 ± 3,11	1,31 ± 3,59
	50		184,52			13,57			198,09		
	51		195,40			13,70			209,10		
	52	KN	186,83	188,27 ± 0,58		13,55	16,30 ± 1,50		203,38	204,57 ± 1,68	
	53		188,27			19,55			207,82		
	54		189,71			15,80			205,51		
H	55	KPN	196,13	199,85 ± 1,58	60,42 ± 4,16	15,05	17,10 ± 0,82	5,28 ± 1,12	218,18	216,95 ± 2,31	65,70 ± 4,14
	56		203,80			18,34			222,14		
	57		199 63			17,90			217,53		
	58	KN	135,48	139,43 ± 3,85		13,76	11,82 ± 0,77		149,24	151,25 ± 3,44	
	59		149,05			10,80			159,85		
	60		133,75			10,90			144,65		
K	61	KPN	195,45	193,52 ± 0,77	1,17 ± 1,58	11,90	11,57 ± 0,39	0,35 ± 0,78	207,35	205,09 ± 0,90	1,51 ± 1,15
	62		193,39			10,60			203,99		
	63		191,72			12,22			203,94		
	64	KN	195,84	192,35 ± 1,39		9,53	11,22 ± 0,68		205,37	203,58 ± 0,72	
	65		191,37			11,40			202,77		
	66		189,85			12,74			202,59		
L	19	KPN	185,60	184,32 ± 1,47	— 1,85 ± 1,60	13,75	14,15 ± 0,31	— 4,83 ± 1,43	199,35	198,47 ± 1,16	— 6,68 ± 3,39
	20		186,72			13,77			200,49		
	21		180,65			14,92			195,57		
	22	KN	185,89	186,17 ± 0,65		22,95	18,98 ± 1,99		208,84	205,15 ± 3,186	
	23		183,19			14,00			197,19		
	24		189,43			20,00			209,43		
M	13	KPN	193,76	185,65 ± 3,24	4,10 ± 3,31	18,99	20,85 ± 0,74	2,89 ± 0,99	212,75	207,17 ± 2,63	6,76 ± 2,72
	14		182,90			22,48			204,38		
	15		180,30			21,08			201,38		
	16	KN	185,15	181,55 ± 0,72		17,31	17,96 ± 0,67		202,46	199,41 ± 1,22	
	17		180,40			16,93			197,03		
	18		179,10			19,63			198,73		

Boden-Serie	Gefäß-Nrn.	Düngung	Ernte an oberirdischer Trockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte g	Differenz g	Ernte an Wurzeltrockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte g	Differenz g	Gesamt-Ernte — Trockensubstanz: Einzelwerte g	Mittelwerte g	Differenz g
N	103	KPN	138,00	141,11 ± 1,24	68,99±2,16 [64])	11,17	12,58 ± 0,93	5,17 ± 0,94	149,17	153,69 ± 1,81	77,78±3,18 [64])
	104		143,06			14,90			157,96		
	105		142,26			11,68			153,94		
	106	KN	101,30	100,53 ± 0,31	40,58±1,27	7,90	7,41 ± 0,12		109,20	107,94 ± 0,50	45,75±1,87
	107		100,58			7,53			107,71		
	108		100,10			6,80			106,91		
O	7	KPN	194,87	190,32 ± 3,53	— 6,26 ± 3,67	10,75	11,72 ± 0,39	— 2,09 ± 0,67	205,62	202,05 ± 2,31	— 8,34 ± 2,6
	8		184,00			12,27			196,27		
	9		192,10			12,15			204,25		
	10	KN	194,06	196,58 + 1,01		13,30	13,81 ± 0,55		207,36	210,39 ± 1,21	
	11		196,93			15,18			212,11		
	12		198,75			12,95			211,70		
P	67	KPN	200,34	198,92 ± 3,90	0,50 ± 4,57	14,05	16,11 ± 1,16	0,68 ± 1,45	214,39	215,03 ± 2,29	1,19 ± 3,3
	68		206,76			19,00			225,76		
	69		189,66			15,27			204,93		
	70	KN	197,22	198,42 ± 2,39		17,17	15,43 ± 0,87		214,39	213,84 ± 2,43	
	71		206,63			12,75			219,38		
	72		191,40			16,36			207,76		
Q	73	KPN	190,44	188,25 ± 0,88	22,95 ± 1,14	15,33	15,83 ± 0,64	3,71 ± 0,95	205,77	204,07 ± 0,71	26,65 ± 1,6
	74		186,72			17,43			204,15		
	75		187,58			14,72			202,30		
	76	KN	167,14	165,30 ± 0,73		12,68	12,12 ± 0,71		179,82	177,42 ± 1,42	
	77		165,24			13,34			178,58		
	78		163,53			10,34			173,87		
R	79	KPN	157,90	161,60 ± 2,66	7,27 ± 3,17	17,50	19,18 ± 0,67	3,74 ± 1,84	175,40	180,79 ± 1,95	11,02 ± 1,9
	80		168,26			20,76			189,02		
	81		158,65			19,29			177,94		
	82	KN	150,00	154,33 ± 1,73		14,91	15,44 ± 0,89		164,91	169,77 ± 1,95	
	83		156,85			17,67			174,52		
	84		156,15			13,74			169,89		

[64]) L. C., S.

Tabelle VI.

Prozentgehalt an P_2O_5 und Gesamt-P_2O_5 in Gramm.

Boden-Serie	Gefäß-Nrn.	Düngung	Oberirdische Ernte: %-Gehalt	Oberirdische Ernte: Mittel	Oberirdische Ernte: Gesamt	Oberirdische Ernte: Mittel	Wurzeln: %-Gehalt	Wurzeln: Mittel	Wurzeln: Gesamt	Wurzeln: Mittel	Gesamternte: Gesamt	Gesamternte: Mittel
A	25	KPN	0,772	0,769	1,312	1,339 ± 0,011	0,625	0,577	0,105	0,099 ± 0,004	1,417	1,438 ± 0,011
	26		0,765		1,364		0,591		0,102		1,466	
	27				1,341		0,514		0,089		1,430	
	28	KN	0,529	0,532	0,889	0,911 ± 0,013	0,261	0,303	0,051	0,055 ± 0,002	0,940	0,966 ± 0,014
	29		0,534		0,902		0,301		0,054		0,956	
	30				0,943		0,374		0,059		1,002	
B	43	KPN	0,657	0,670	1,303	1,278 ± 0,010	0,737	0,683	0,110	0,116 ± 0,002	1,413	1,393 ± 0,008
	44		0,683		1,257		0,610		0,116		1,373	
	45				1,273		0,701		0,121		1,394	
	46	KN	0,478	0,469	0,789	0,779 ± 0,004	0,491	0,505	0,089	0,086 ± 0,005	0,878	0,865 ± 0,006
	47		0,459		0,778		0,516		0,074		0,852	
	48				0,770		0,509		0,096		0,866	
C	37	KPN	0,593	0,587	1,062	1,069 ± 0,005	0,594	0,573	0,074	0,091 ± 0,008	1,136	1,16 ± 0,013
	38		0,581		1,064		0,572		0,089		1,153	
	39				1,082		0,555		0,110		1,192	
	40	KN	0,459	0,453	0,690	0,690 ± 0,002	0,547	0,552	0,061	0,069 ± 0,003	0,751	0,759 ± 0,004
	41		0,447		0,685		0,557		0,072		0,757	
	42				0,694		0,551		0,074		0,768	
D	31	KPN	0,778	0,772	1,354	1,336 ± 0,011	0,355	0,365	0,044	0,051 ± 0,003	1,398	1,387 ± 0,006
	32		0,765		1,334		0,339		0,056		1,390	
	33				1,320		0,400		0,052		1,372	
	34	KN	0,552	0,547	0,925	0,926 ± 0,006	0,143	0,182	0,018	0,020 ± 0,001	0,943	0,946 ± 0,007
	35		0,542		0,912		0,182		0,020		0,932	
	36				0,940		0,222		0,022		0,962	
E	1	KPN	0,883	0,886	1,316	1,379 ± 0,013	0,558	0,541	0,079	0,086 ± 0,003	1,395	1,464 ± 0,028
	2		0,889		1,386		0,538		0,088		1,474	
	3				1,434		0,528		0,090		1,524	
	4	KN	0,661	0,654	0,969	1,018 ± 0,020	0,333	0,326	0,051	0,056 ± 0,002	1,020	1,074 ± 0,018
	5		0,647		1,042		0,329		0,055		1,097	
	6				1,044		0,317		0,061		1,105	

Boden-Serie	Gefäß-Nrn.	Düngung	%-Gehalt	Mittel	Gesamt	Mittel	%-Gehalt	Mittel	Gesamt	Mittel	Gesamt	Mittel
F	49	KPN	0,623	0,633	1,253	1,219 ± 0,021	0,628	0,591	0,078	0,078 ± 0,001	1,331	1,297 ± 0,022
	50		0,643		1,168		0,563		0,076		1,244	
	51				1,237		0,582		0,080		1,317	
	52	KN	0,569	0,573	1,070	1,075 ± 0,002	0,601	0,510	0,082	0,082 ± 0,001	1,152	1,160 ± 0,004
	53		0,576		1,078		0,432		0,085		1,163	
	54				1,078		0,498		0,079		1,166	
H	55	KPN	0,505	0,515	1,010	1,029 ± 0,008	0,490	0,482	0,074	0,082 ± 0,004	1,084	1,112 ± 0,011
	56		0,525		1,050		0,481		0,088		1,138	
	57				1,028		0,474		0,085		1,113	
	58	KN	0,462	0,462	0,626	0,644 ± 0,018	0,516	0,531	0,071	0,062 ± 0,04	0,697	0,707 ± 0,016
	59		0,462		0,689		0,531		0,057		0,746	
	60				0,618		0,545		0,059		0,677	
K	61	KPN	0,690	0,698	1,365	1,351 ± 0,006	0,813	0,813	0,097	0,094 ± 0,002	1,462	1,445 ± 0,006
	62		0,706		1,350		0,832		0,088		1,438	
	63				1,339		0,794		0,097		1,436	
	64	KN	0,573	0,570	1,116	1,096 ± 0,008	0,676	0,680	0,064	0,066 ± 0,005	1,180	1,162 ± 0,010
	65		0,567		1,091		0,681		0,078		1,169	
	66				1,082		0,683		0,055		1,137	
L	19	KPN	0,758	0,765	1,419	1,413 ± 0,009	0,576	0,541	0,072	0,076 ± 0,002	1,491	1,489 ± 0,007
	20		0,771		1,429		0,546		0,075		1,504	
	21				1,390		0,550		0,082		1,472	
	22	KN	0,642	0,645	1,190	1,222 ± 0,025	0,353	0,390	0,081	0,076 ± 0,005	1,280	1,298 ± 0,028
	23		0,648		1,182		0,458		0,064		1,246	
	24				1,286		0,360		0,082		1,368	
M	13	KPN	0,808	0,815	1,580	1,510 ± 0,003	Die Analyse der Wurzeln konnte leider nicht ausgeführt werden.					
	14		0,821		1,490							
	15				1,470							
	16	KN	0,624	0,620	1,148	1,126 ± 0,009						
	17		0,616		1,119							
	18				1,110							
N	103	KPN	0,523	0,520	0,718	0,734 ± 0,006	0,530	0,530	0,058	0,066 ± 0,004	0,776	0,800 ± 0,01
	104		0,516		0,744		0,511		0,076		0,820	
	105				0,740		0,548		0,064		0 804	
	106	KN	0,460	0,460	0,466	0,463 ± 0,002	0,512	0,537	0,040	0,040 ± 0,002	0,506	0,503 ± 0,002
	107		0,460		0,461		0,570		0,043		0,504	
	108				0,461		0,529		0,036		0,499	

Tabelle VI (Fortsetzung).

Prozentgehalt an P_2O_5 und Gesamt-P_2O_5 in Gramm.

Boden-Serie	Gefäß-Nrn.	Düngung	Oberirdische Ernte: %-Gehalt	Mittel	Gesamt	Mittel	Wurzeln: %-Gehalt	Mittel	Gesamt	Mittel	Gesamt-P_2O_5: Gesamt	Mittel
O	7	KPN	1,490	1,508	2,939	2,870 ± 0,038	0,991	1,009	0,107	0,144 ± 0,025	3,046	3,014 ± 0,014
	8		1,525		2,774		1,060		0,206		3,980	
	9				2,896		0,977		0,119		3,015	
	10	KN	1,394	1,382	2,682	2,717 ± 0,014	0,821	0,822	0,108	0,113 ± 0,002	2,790	2,830 ± 0,016
	11		1,370		2,721		0,783		0,119		2,840	
	12				2,748		0,862		0,112		2,860	
P	67	KPN	1,690	1,702	3,411	3,386 ± 0,063	1,314	1,138	0,160	0,173 ± 0,0076	3,571	3,559 ± 0,066
	68		1,713		3,519		0,010		0,192		3,711	
	69				3,228		1,091		0,167		3,395	
	70	KN	1,635	1,648	3,250	3,270 ± 0,054	1,312	1,325	0,225	0,204 ± 0,013	3,475	3,474 ± 0,042
	71		1,660		3,405		1,346		0,172		3,577	
	72				3,154		1,318		0,216		3,370	
Q	73	KPN	0,597	0,591	1,126	1,113 ± 0,005	0,541	0,545	0,083	0,086 ± 0,002	1,209	1,199 ± 0,004
	74		0,584		1,104		0,528		0,092		1,196	
	75				1,109		0,567		0,084		1,193	
	76	KN	0,521	0,518	0,866	0,856 ± 0,904	0,463	0,472	0,059	0,058 ± 0,004	0,925	0,914 ± 0,008
	77		0,514		0,856		0,499		0,067		0,923	
	78				0,847		0,454		0,047		0,894	
R	79	KPN	0,796	0,806	1,272	1,302 ± 0,021	0,813	0,705	0,142	0,135 ± 0,003	1,414	1,437 ± 0,025
	80		0,826		1,356		0,693		0,144		1,500	
	81				1,279		0,609		0,118		1,397	
	82	KN	0,563	0,570	0,855	0,88 ± 0,005	0,487	0,488	0,073	0,076 ± 0,002	0,928	0,955 ± 0,011
	83		0,576		0,894		0,484		0,086		0,980	
	84				0,890		0,493		0,068		0,958	

Tabelle VII.

Boden	Gefäß-Nrn.	Düngung	Ernte in g	Mittel-Werte je 3 Töpfe in g
A	25	KPN	196,5	200,3
	26		204,0	
	27		200,6	
	28	KN	192,3	197,7
	29		195,0	
	30		205,8	
B	43	KPN	224,3	219,7
	44		216,2	
	45		218,5	
	46	KN	193,2	190,0
	47		190,9	
	48		188,6	
C	37	KPN	208,2	209,7
	38		209,3	
	39		211,6	
	40	KN	174,8	174,8
	41		173,7	
	42		176,0	
D	31	KPN	201,3	199,0
	32		199,0	
	33		196,7	
	34	KN	194,4	194,8
	35		192,1	
	36		197,8	
E	1	KPN	171,4	179,7
	2		179,4	
	3		186,3	
	4	KN	170,2	179,0
	5		182,9	
	6		184,0	
F	49	KPN	227,7	221,6
	50		212,8	
	51		224,3	
	52	KN	213,9	215,8
	53		216,2	
	54		217,4	
H	55	KPN	225,4	229,3
	56		233,5	
	57		228,9	
	58	KN	155,3	160,3
	59		171,4	
	60		154,1	
K	61	KPN	224,3	222,4
	62		222,0	
	63		220,8	
	64	KN	225,4	221,2
	65		219,7	
	66		218,5	
L	19	KPN	214,9	212,7
	20		215,1	
	21		208,2	
	22	KN	214,9	214,3
	23		210,5	
	24		217,4	
M	13	KPN	223,3	213,4
	14		210,0	
	15		207,0	
	16	KN	212,8	208,6
	17		207,1	
	18		205,9	
N	103	KPN	158,7	162,2
	104		164,5	
	105		163,3	
	106	KN	116,2	115,5
	107		115,2	
	108		115,1	
O	7	KPN	224,3	218,9
	8		211,6	
	9		220,8	
	10	KN	223,1	226,3
	11		226,6	
	12		228,9	
P	67	KPN	230,3	228,9
	68		238,0	
	69		218,4	
	70	KN	226,7	228,2
	71		237,9	
	72		220,1	
Q	73	KPN	218,7	216,4
	74		214,9	
	75		215,7	
	76	KN	192,1	190,1
	77		189,8	
	78		188,4	
R	79	KPN	181,7	185,9
	80		193,4	
	81		182,6	
	82	KN	172,5	177,5
	83		180,4	
	84		179,5	

Lebenslauf.

Ich, Marthinus J. van der Spuij, Sohn des Gutsbesitzers D. G. van der Spuij, bin am 15. Juni 1898 in Malmesbury, Kapprovinz Süd-Afrika, geboren.

Meine Schulbildung genoß ich anfangs auf der Volksschule in Philadelphia und später auf dem Realgymnasium in Paarl, welches ich im Dezember 1917 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Im Februar 1918 bezog ich die Universität Stellenbosch, wo ich mich während der Zeit 1918 bis 1922 dem Studium der Landwirtschaft, insbesondere der Agrikulturchemie, widmete.

Dezember 1922 erwarb ich der obengenannten Universität den Grad „Bachelor of Science".

Mit Beginn des S.-S. 1923 setzte ich mein Studium in Deutschland an der Universität Göttingen fort. Während meiner Studienzeit habe ich die Vorlesungen und Praktika der folgenden Professoren und Dozenten besucht:

In Stellenbosch: P. Malherbe, du Toit, van der Merve, van der Riet, Sand, Reimers, Großkopf, W. Malherbe, Langenhorst, Brain.

In Göttingen: Blanck, Bitter, Stille, Burgeff, Rippel.

Allen diesen meinen hochverehrten Lehrern fühle ich mich zu aufrichtigem und stetem Danke verpflichtet.